

APPRENDRE L'ELECTRONIQUE PAR LA PRATIQUE

THEORIE — Le décibel

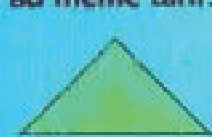
TECHNOLOGIE — Le refroidissement des semi-conducteurs

MONTAGE — Un testeur de transistors

SEMI-CONDUCTEURS — Retour sur la diode

18

Les numéros 1,2,3,4,5, 6,7,8,9,10, 11 & 12 de l'ABC de l'électronique sont épuisés. Nous disposons des photocopies de ces numéros au même tarif.





Edité par SORACOM Editions
SARL au capital de 250.000 Frs
La Haie de Pan - BP 88
35170 BRUZ

Téléphone : 99.52.98.11
Fax : 99.52.78.57

Directeur de publication
Rédacteur en chef
S. FAUREZ

Secrétaire de rédaction
André DURAND

Directeur de fabrication
Edmond COUDERT

Abonnements
SORACOM

Composition - maquette dessins
J. LEGOUPI – B. JÉGU

Vous pouvez obtenir les numéros précédents aux Editions SORACOM.
Du n°1 à 10 20 F par numéro.
à partir du n°11 21F par numéro.

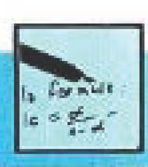
ABONNEMENT
180 F pour 12 numéros
soit 15 F le numéro (au lieu de 19 F)
Paiement par carte bancaire accepté
• Etranger : nous consulter

Imprimé en France par
Société Mayennaise d'impression
53100 MAYENNE

Dépôt légal à parution – Diffusion NMPP

Commission paritaire 73610





LE DECIBEL

Dans la vie moderne «les décibels» sont devenus par déformation synonyme de bruit, utilisé en acoustique, le décibel l'est aussi dans bien d'autres domaines dont l'électronique.

Dans la vie courante, il nous arrive souvent d'avoir à exprimer un niveau du bruit produit par une machine par exemple. Pour cela nous lui affectons un facteur relatif au bruit produit par une source connue. Placée dans les mêmes conditions devant trois sources émettant respectivement une puissance sonore de 1, 10 et 100 watts, une personne pourra vous dire qu'elle entend la seconde «deux fois plus fort» que la première et «deux fois moins» fort que la troisième. Le facteur deux qu'elle attribue lors du passage à une puissance dix fois supérieure est tout à fait relatif mais indique bien que la sensibilité de l'oreille humaine n'est pas linéaire, heureusement d'ailleurs, on dit qu'elle suit une loi logarithmique dont voici une illustration : à distance égale, elle peut discerner dans une ambiance calme le bruit d'un insecte par exemple et être saturée aux limites de la douleur par celui d'un Boeing 747 au décollage.

Les rapports numériques et les puissances de dix

Si l'on fait ainsi le rapport de ces deux niveaux de bruits extrêmes, celui-ci sera exprimé avec un nombre impressionnant de zéros... disons approximativement de 10 000 000 000 000 pour le rapport B747/insecte et de 0,000 000 000 0001 pour le rapport insecte/B747. Ces facteurs sont alors exprimés en puissances de dix soit respectivement 10^{13} et 10^{-13}, c'est bien plus simple à écrire sans se tromper sur le nombre de zéros. Nous avons choisi ces valeurs pour exemple car elles définissent la plage d'audition (on l'appelle «plage dynamique») de l'oreille humaine. La note* en fin d'article vous donne sa valeur en décibels, mais nous allons d'abord essayer de vous définir le décibel.

Le logarithme

Le logarithme décimal ou «log» d'un nombre est la valeur de son exposant lorsque ce nombre est exprimé en puissance de 10. Cet exposant peut donc être un nombre entier ou fractionnaire positif ou négatif. Par exemple $20 = 10^{1,3}$ ce qui donne log 20 = 1,3 et son inverse $1/20 = 10^{-1,3}$ et log 1/20 = log 0,05 = -1,3.
Le calcul en log a entre autres l'avantage de simplifier les opérations : Le log du produit de deux nombres est égal à la somme de leurs logs et le log de leur quotient est égal à la différence de leurs logs. On peut aussi en déduire que pour calculer la racine carrée d'un nombre, il suffit de diviser son log par deux (ou le multiplier par deux pour calculer le carré). C'est sur ce principe que fonctionnent les calculettes scientifiques, et les règles à calcul qu'elles ont remplacé.

Le décibel

L'unité de puissance relative est le décibel (dB) qui est égale au dixième de bel, du nom de Graham Bell, le précurseur des réseaux téléphoniques qui eut l'idée d'utiliser le logarithme d'un rapport . Parce que sa valeur trop importante le rendait malcommode à utiliser (un peu comme le Farad), le bel a cédé sa place au décibel. En effet une variation de 1 décibel sur un niveau de bruit est tout juste perceptible par l'oreille humaine dans des conditions idéales. Le nombre de décibels correspond à dix fois le logarithme d'un rapport de puissance : Vous noterez ici que le décibel se base sur un rapport de puissances.
Mais il peut aussi s'appliquer à des rapports de tensions ou de courants à condition qu'ils soient mesurés sur des impédances identiques (loi d'Ohm).
Dans ces conditions, le rapport en dB est donné par les relations suivantes.
Par rapport à la relation précédente, vous y remarquez le facteur deux sur le log, ce qui évite d'avoir recours à un rapport de carrés, suivant la loi d'Ohm :

$$dB = 20 \log \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad \text{au lieu de} \quad dB = 20 \log \left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

V et I en volts ou en ampères (multiples ou sous-multiples)

$$dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \qquad \xrightarrow{P_1} \square \xrightarrow{P_2}$$

Avec P en watts (multiples ou sous-multiples)

Le gain d'un circuit électronique

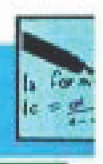
Dans ces trois relations, les valeurs comportant un indice 1 (P1, V1 et I1) sont mesurées à l'ENTREE du (ou des) étage(s) et celles comportant un indice 2 (P2, V2 et I2) le sont à sa (ou leur) SORTIE. Elles expriment un GAIN. Si la valeur en dB est négative le (ou les) étage(s) considéré(s) ont un gain négatif, nous avons affaire à un atténuateur. Si elle est de 0 dB le (ou leur) gain est égal à 1 (sans perte ni gain). Si elle est positive le (ou leur) gain est positif, il s'agit d'un amplificateur.

Note : En inversant les indices d'entrée et de sortie ces expressions expriment des PERTES, la valeurs absolue en dB (1) reste la même mais le signe est inversé. Ceci peut créer une confusion, et il faut toujours préciser qu'il s'agit de gains ou de pertes ! Aussi nous conseillons aux débutants de toujours raisonner en gain.

Les logs décimaux («$\log_{10}$» ou «log» tout court) se trouvent sous forme de tableaux dans les recueils de tables et relations mathématiques, mais de nos jour nous avons recours aux calculettes scientifiques, bien plus simples et rapides à manipuler.
En électronique nous utilisons toujours des logs décimaux (ou à base 10), par contre les mathématiciens et les physiciens utilisent aussi le log népérien (du nom de Neper, l'inventeur des logarithmes) qui est basé sur la constante e = 2,72, donc à ne pas confondre.
Nous vous recommandons cependant de retenir certaines valeurs typiques qui reviendront très souvent :

dB	P2/P1 +	P2/P1 —
0	1	1
3	2	1/2
6	4	1/4
10	10	1/10 ou 10^{-1}
20	100 ou 10^2	1/100 ou 10^{-2}
30	1000 ou 10^3	1/1000 ou 10^{-3}
....	....	....
100	10 000 000 ou 10^7	1/10 000 000 ou 10^{-7}

Table de conversion de valeurs typiques dB / rapports numériques



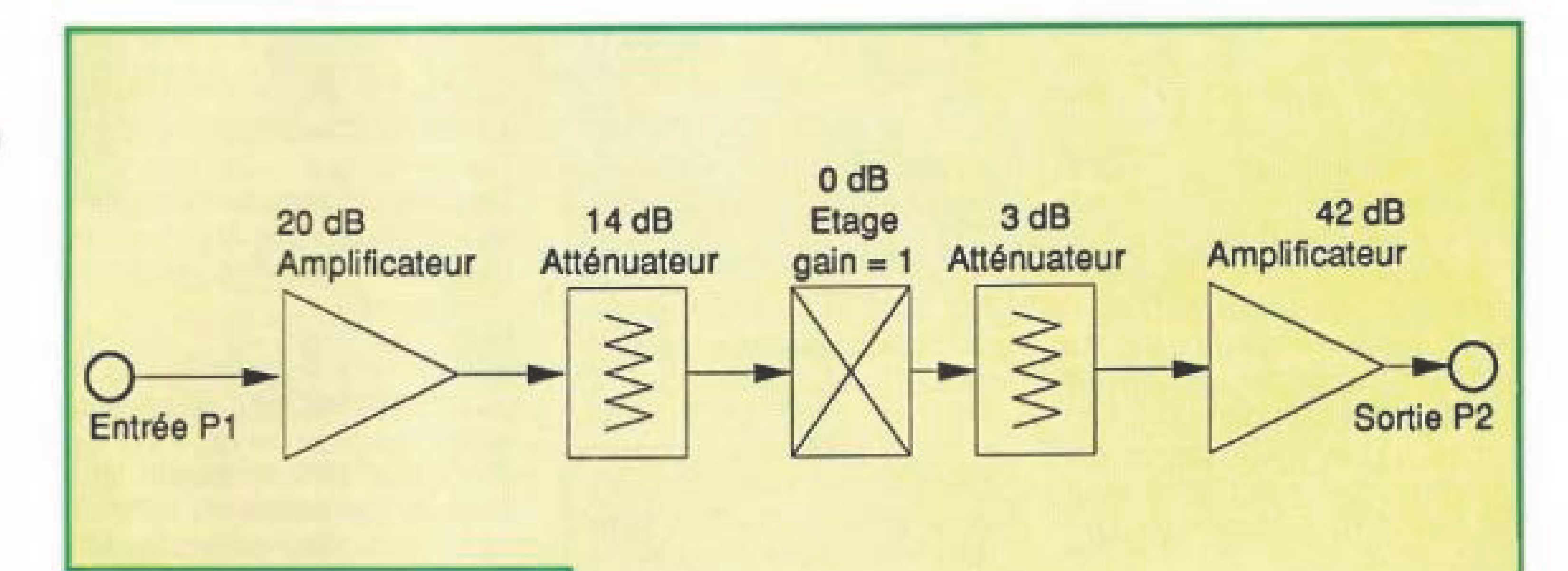
Les rapports numériques correspondant à 3 et 6 dB ont été arrondis à 0,5% près, ce qui n'a aucune importance dans la pratique.
Nous vous donnons aussi un tableau plus complet et plus précis avec les rapports numériques de puissance et de tensions (ou d'intensités).
Ne vous effrayez pas et comme pour les valeurs typiques, l'usage des deux premiers signes significatifs est largement suffisant.

Applications de valeurs typiques :

Prenons comme exemple un amplificateur dont le gain de puissance est de 16 dB et dont le signal d'entré est de 1W, nous devons calculer sa puissance de sortie. Les puissances sortie/entrée (P2/P1) diffèrent d'un facteur 10 dB + 6 dB -> 10 x 4 = 40. Un ampli dont le gain en puissance est de 16 dB et la puissance d'entrée est de 1W aura une puissance de sortie de 1 x 40 = 40W.
Prenons maintenant le cas d'un atténuateur dont le gain de puissance est de -16 dB et dont le signal d'entrée est 1W. Les puissances sortie/entrée (P2/P1) différent d'un facteur - 10 dB - 6 dB -> 0,1 x 0,4 = 0,04 Un atténuateur dont le gain en puissance est de -16 dB et la puissance d'entrée est de 1W aura une puissance de sortie de 1 x 0,04 = 0,04 W soit 40 mW.
Connaissant les rapports typiques de 0, 3, 6, 10 dB, vous pourrez immédiatement estimer mentalement le gain d'un montage avec une précision largement suffisante.

Gain global d'un système :

Pour connaître le gain total en dB d'un système, vous faites le bilan c'est à dire la somme des gains en dB de chaque étage, en tenant compte de leur signe (+ ou -). Nous ne vous parlons ici que du gain en puissance car il ne tient pas compte des impédances.
Ces dernières ne sont d'ailleurs que très rarement toutes égales dans un circuit comportant des amplificateurs.
Soit le système représenté sur la figure :



Son gain total se calcule comme suit. Nous y avons ajouté le gain numérique obtenu par multiplication pour vous montrer l'avantage et la simplicité de raisonner en dB :

Gain total en dB :

+ 20 dB - 14 dB + 0 dB - 3 dB + 42 dB = 45 dB

Gain total numérique :

100 x 0,039 x 1 x 0,5 x 15849 = 30905,5

Vérification : 10 log 30905,5 = 45 dB.

De la relativité à l'absolu

Tel quel, le décibel n'est qu'une unité relative. Lorsqu'on s'en sert pour définir une grandeur (puissance, tension ou courant)

nous lui attribuons un niveau de référence.

En radio par exemple les puissances sont souvent exprimées en dBW (décibels référencés à 1 watt) ou en dBm (décibels référencés à 1 milliwatt, nous devrions dire dBmW mais on abrège ce qui peut créer des confusions pour les non initiés...). Ainsi une puissance de 2 kilowatts peut être exprimée en dBW (soit + 33 dBW) ou en dBm (soit + 63 dBm).

Une puissance de 5 microwatts = - 53 dBW = - 23 dBm.

Il en est de même pour la tension d'un signal qui est souvent exprimée en dBV (décibels référencés à 1 volt) ou en dBµV (décibels référencés à 1 microvolt).

Ainsi une tension de 2 millivolts = - 54 dBV = + 66 dBµV.

Le gain d'une antenne est défini par rapport à une antenne normalisée de référence qui peut être soit un dipôle demi-onde, nous parlons alors de gain en dBd, soit une antenne isotrope c'est à dire une antenne théorique ponctuelle rayonnant sans direction privilégiée, nous parlons alors de gain en dBi. La différence entre un gain donné en dBi et un gain donné en dBd est de 2,15 dB : Si le gain d'une antenne vous est donné pour 10 dBi, il ne sera que de 10 - 2,15 = 7,85 dBd.

Nous insistons un peu sur ce point car certains fabricants d'antennes donnent un gain en dB tout cours, ce qui ne veut rien dire, mais ne serait-ce que pour des raisons publicitaires...

Lorsque le gain d'une antenne vous est donné en dB, prenez-les pour des dBi et retranchez-y systématiquement 2,15 dB pour la comparer à un simple dipôle.

De cette discussion, rappelez-vous que si vous avez affaire à des dB seuls il s'agit d'unités relatives comparant deux grandeurs entre elles et que si vous rencontrez des dBx, il s'agit d'unités absolues comparant la grandeur concernée à une grandeur normalisée x de référence.

dB	P2/P1		U2/U1 ou I2/I1	
	+	-	+	-
0	1	1	1	1
0,10	1,023	0,9722	1,012	0,9886
0,20	1,047	0,9550	1,023	0,9722
0,30	1,072	0,9333	1,035	0,9661
0,40	1,096	0,9120	1,047	0,9550
0,50	1,122	0,8913	1,059	0,9441
1,00	1,259	0,7943	1,122	0,8913
1,50	1,413	0,7079	1,189	0,8414
2,00	1,585	0,6310	1,259	0,7943
2,50	1,778	0,5623	1,334	0,7499
3,00	1,995	0,5012	1,413	0,7079
3,50	2,239	0,4467	1,496	0,6683
4,00	2,512	0,3981	1,585	0,6310
4,50	2,818	0,3548	1,679	0,5957
5,00	3,162	0,3162	1,778	0,5623
10,00	10,000	0,1000	3,162	0,3162
15,00	31,620	0,0316	5,623	0,1778
20,00	100	0,0100	10,000	0,1000
30,00	1000	0,0010	31,620	0,0316

Dans un prochain numéro nous vous reparlerons des logarithmes, des décibels et des échelles logarithmiques utilisées dans les représentations graphiques.

Notes et remarques :

* Note sur la dynamique de l'oreille humaine :

La plage dynamique d'audition de l'oreille humaine peut donc être exprimée en dB, à partir du rapport des niveaux de puissance extrêmes, nous prendrons 10^{13} :

$10 \log (10^{13}) = 10 . 13 = 130$ dB

Nous aurions pu prendre 10^{-13} et obtenir -130 dB, la valeur absolue (1) en dB reste la même, puisqu'il s'agit de deux grandeurs relatives qui marquent les limites d'une échelle.

Nous vous avons parlé de cette notion de plage «dynamique» parce qu'elle est aussi utilisée pour définir, toujours en dB, l'une des principales caractéristiques d'un transducteur autrement dit d'une «interface» qui convertit une énergie de nature donnée en énergie électrique (amplificateur, récepteur radio, microphone, cellule photo-électrique etc...).

C'est aussi l'allure de la plage dynamique d'audition de l'oreille humaine qui nous oblige à adopter dans les montages audio des potentiomètres de volume à variation logarithmique.

(1) La valeur absolue d'un nombre ne tient pas compte du signe qui le précède. -A et +A ont une même valeur absolue -|A|. En écriture mathématique on la discerne par les deux crochets.



LE REFROIDISSEMENT DES SEMI-CONDUCTEURS

Dans les circuits de redressement, d'analogique ou de logique, tout dispositif à semi-conducteurs dissipe plus ou moins d'énergie sous forme de chaleur.

La nature du cristal impose cependant des températures relativement basses dont dépend leur fiabilité. Pouvoir supporter une température plus élevée est d'ailleurs l'une des raisons pour lesquelles le silicium a supplanté le germanium.

Pour les petits composants dont la puissance dissipée ne dépasse pas quelques centaines de milliwatts, la question de dissipation thermique ne se pose guère car leur boîtier, utilisé tel quel, est suffisant dans la majorité des cas. La convection naturelle de l'air intervient seule. La convection qui est le mouvement des molécules d'un fluide se fait naturellement de bas en haut.
Le refroidissement des semi-conducteurs de puissance, exige par contre l'apport d'un accessoire supplémentaire : le dissipateur de chaleur appelé aussi "refroidisseur" ou "radiateur".



De toutes les tailles...

NOTION DE RESISTANCE THERMIQUE

Tout dispositif à semi-conducteur dissipe, en cour de fonctionnement, une certaine quantité d'énergie qui se traduit par une élévation de la température de (ou des) jonction(s). Pour simplifier, dans le cas de plusieurs jonctions (transistor, thyristor, circuits intégrés...), nous ramenons toutes ces jonctions à une seule. Pour augmenter la puissance dissipée admissible par la jonction, il faut donc évacuer la chaleur produite au niveau de celle-ci, par un refroidisseur de grande conductibilité thermique, le matériau employé étant le plus souvent l'aluminium ou le cuivre.

Le plus simple est d'utiliser la convection naturelle de l'air dont nous avons déjà parlé, en fixant le composant sur un refroidisseur dont la surface est calculée en fonction de la puissance dissipée. Pour calculer les dimensions du refroidisseur il nous faudra connaître :

- La puissance maximale susceptible d'être dissipée par le semi-conducteur.



... de toutes les formes...

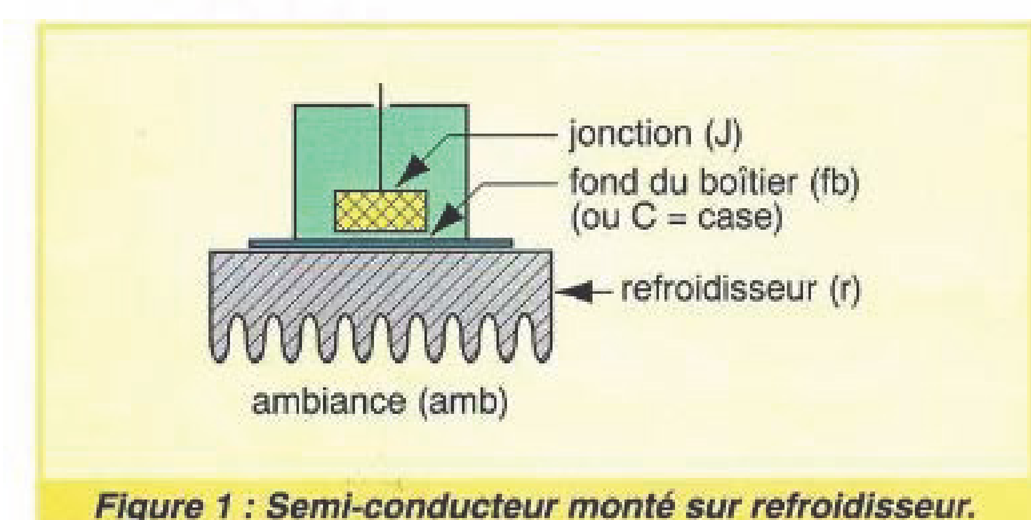


Figure 1 : Semi-conducteur monté sur refroidisseur.

$R_{th(J-fb)}$ T_{fb} $R_{th(fb-r)}$ P_D T_r $R_{th(r-amb)}$ T_{amb}

Figure 2 : La loi d'Ohm thermique appliquée à un circuit refroidisseur.

- Sa résistance thermique interne (dite jonction-boîtier) dont nous allons vous parler.
- La température maximale que peut supporter la jonction.

Ces trois valeurs sont données par les catalogues des fabricants (figure 1).

Le calcul du refroidisseur est simplifié par l'emploi de la Loi d'Ohm Thermique :

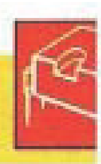
Le semi-conducteur est assimilé à un générateur thermique délivrant la puissance délivrée maximale Pd (en watts) dans le montage considéré, cette puissance ne devra pas dépasser celle donnée par le fabricant. Les différences de potentiel sont ici exprimées en températures (°C) (figure 2).

Le composant présente une résistance thermique interne donnée par le fabricant. Celle-ci est la résistance thermique entre la jonction elle-même et le fond du boîtier dont elle est mécaniquement solidaire, nous la nommerons $R_{th(j-fb)}$ et s'exprime en °C/W (degré Celsius par watt).

Le composant est monté sur le refroidisseur, le contact thermique entre le fond du boîtier et le refroidisseur n'est pas parfait et présente une résistance thermique $R_{th(fb-r)}$.

Quant au refroidisseur lui-même, il présente une résistance thermique avec le milieu ambiant que nous nommons $R_{th(r-amb)}$.

A la température ambiante, ici la température de référence, est considérée comme le "commun" ou la "masse" du circuit, le cir-



cuit se referme directement sur le générateur.

La résistance thermique totale de ce circuit est ainsi égale à la somme des trois résistances en série :

$$R_{th} = R_{th(j\text{-}fb)} + R_{th(fb\text{-}r)} + R_{th(r\text{-}amb)}$$

Les températures régnant entre ces différents éléments (jonction, boîtier, refroidisseur et milieu ambiant) peuvent être ainsi comparés à des différences de potentiel. Le température ambiante étant la plus basse (et indépendante du système), elle est prise comme référence.

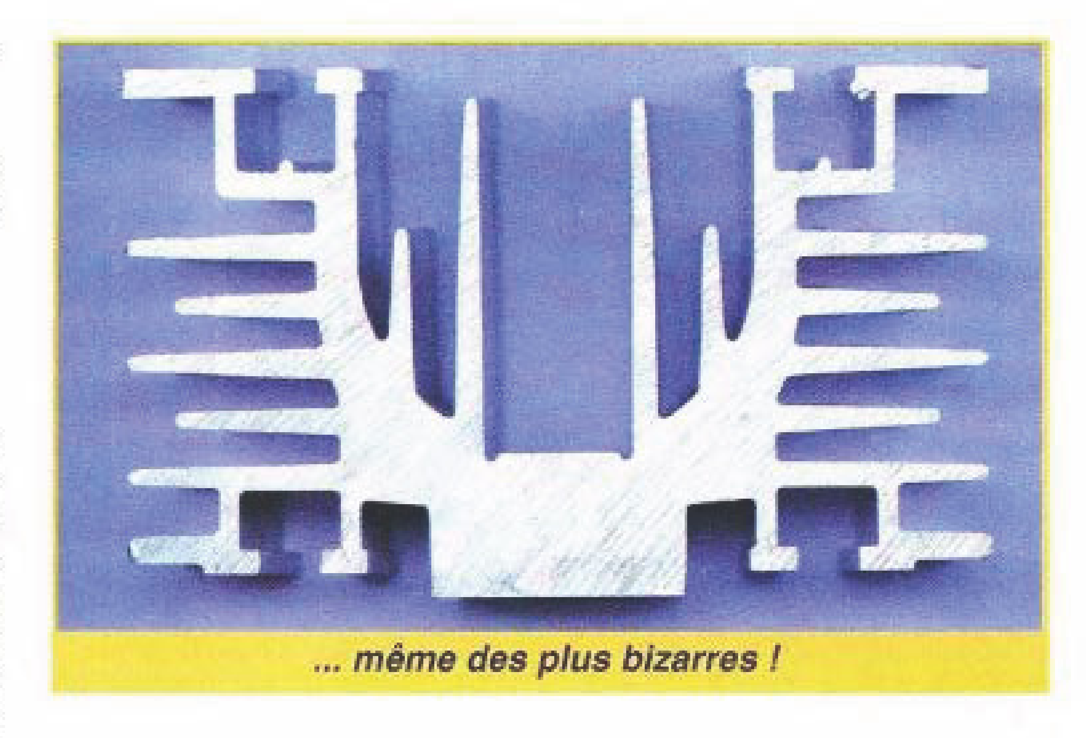
T_j = Température de la jonction, à ne pas dépasser.
T_{fb} = Température du fond du boîtier (ou T_c, c pour "case" en anglais).
T_{amb} = Température ambiante.

Ces températures sont en °C. Les deux premières sont données par le fabricant. La température ambiante dépend des conditions d'utilisation, elle est habituellement de 25 °C en local fermé.

Selon la loi d'Ohm thermique, la résistance thermique est égale au rapport de la différence de température sur la puissance dissipée. Pour connaître la résistance thermique du refroidisseur, nous prendrons les deux températures extrêmes du système Tj et Tamb :

$$R_{th(r\text{-}amb)} = (T_j - T_{amb}) / P_d - R_{th(j\text{-}fb)} - R_{th(fb\text{-}r)}$$

Or, dans la pratique, les deux derniers termes Rth(j-fb) et Rth(fb-r) sont considérés comme négligeables devant le premier.



... même des plus bizarres !

Ceci à condition que le composant soit fixé au refroidisseur dans les règles de l'art, nous vous en parlons plus loin. Dans ces conditions l'expression devient :

$$R_{th(r\text{-}amb)} = (T_j - T_{amb}) / P_d$$

avec : R_{th} en °C/W, T en °C et P en W.

Votre revendeur est sensé connaître la résistance thermique des refroidisseurs qu'il vous propose et qui se trouvent dans les catalogues des fabricants. Les grandes pièces sont souvent fournies au mètre sous forme de profilés, leur Rth est alors donnée sous forme de courbe (non linéaire !) en fonction de la longueur désirée.

FIXATION DU COMPOSANT

La résistance thermique Rth(fb-r) dépend avant tout du montage du boîtier sur le refroidisseur. S'il est fait avec soin, elle devient négligeable et on n'en tient pas compte dans les calculs.

Pour cela, les surfaces en contact doivent être planes, bien finies (sans aucune irrégularité) et leur serrage correct sans trop forcer en y intercalant une fine couche de pâte thermique à l'aide d'une petite spatule ou d'une lame de canif, comme du beurre sur une tartine de pain ! Si le boîtier doit être électriquement isolé du refroidisseur, cela arrive souvent, vous intercalez entre les deux surfaces une feuille de mica dont la découpe dépend du type de boîtier, vous devez alors appliquer la pâte thermique sur les deux surfaces (figure 3) !

La pâte thermique, en général de couleur blanche, est composée de graisse au silicone et d'oxyde de béryllium ou autre qui constituent un excellent conducteur thermique. Cette pâte durcit avec le temps et les contraintes thermiques. Lorsque vous remplacez un transistor de puissance au cours d'un dépannage n'hésitez pas à nettoyer les

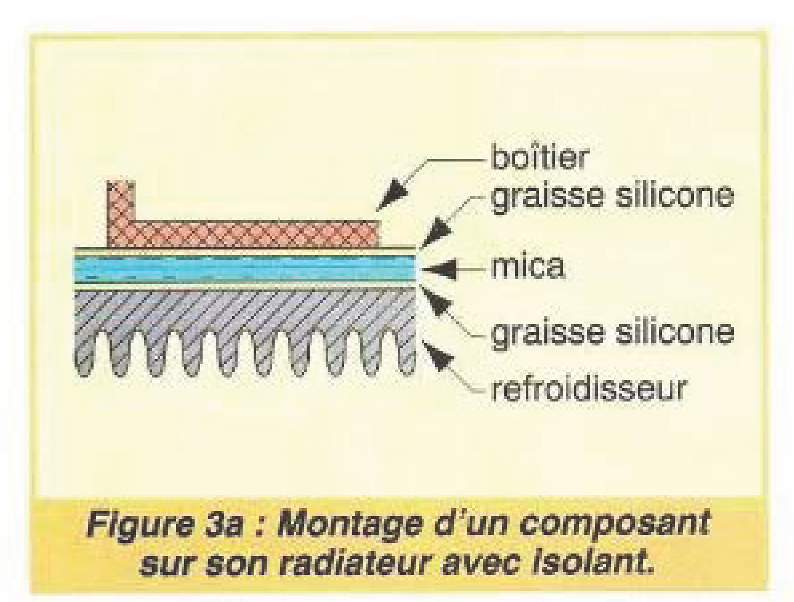


Figure 3a : Montage d'un composant sur son radiateur avec isolant.

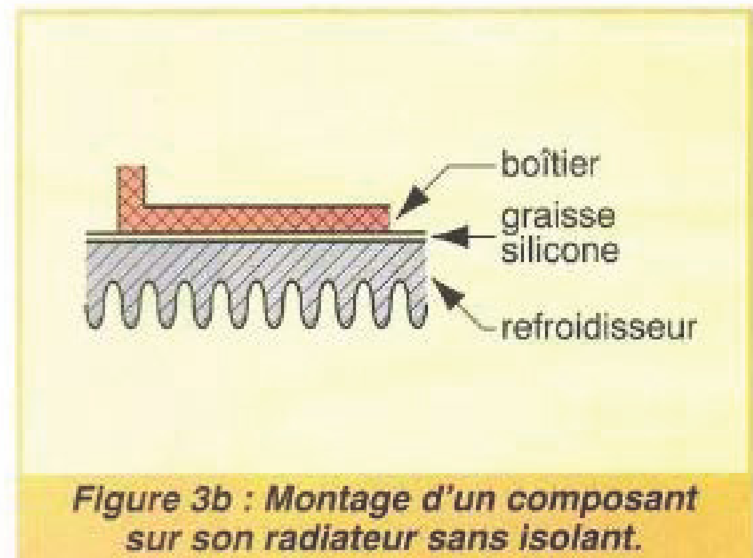


Figure 3b : Montage d'un composant sur son radiateur sans isolant.

surfaces et à remettre de la pâte thermique "fraîche".

Un refroidisseur (ou du moins ses ailettes) doit être disposé si possible dans le sens vertical pour faciliter la convection de l'air. Le composant doit être situé, de préférence, au centre du refroidisseur. Si celui-ci comporte plusieurs composants, ils devront être régulièrement répartis sur sa surface.

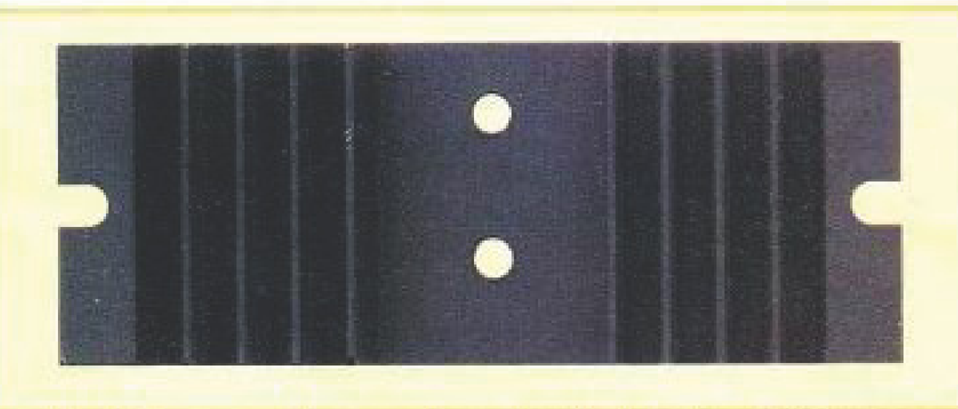
Un refroidisseur n'est rien d'autre qu'un échangeur de chaleur entre une source et le milieu extérieur. Cet échange se fait par trois moyens que nous avons classé par ordre d'importance décroissante :

- Par convection ou par contact avec les molécules d'un fluide en mouvement ascendant, naturel ou forcé.
- Par rayonnement direct sous forme de rayons infrarouges, la nature du milieu extérieur n'intervient pas et peut être le vide absolu (c'est le seul moyen de refroidissement de l'électronique embarquée à bord des satellites par exemple).
- Par conduction ou par contact direct avec le milieu extérieur considéré comme statique. Si son effet est négligeable entre le refroidisseur et l'air ambiant il joue, par contre, un rôle primordial pour les joints thermiques jonction-boîtier-refroidisseur.

Cas simple d'un refroidisseur plan et carré, disposé verticalement

Il s'agit d'une plaque de cuivre de 2 mm d'épaisseur ou d'une plaque d'aluminium de 3 mm d'épaisseur (figure 4).

Vous remarquerez l'amélioration appréciable du rendement obtenue en convection naturelle par anodisation de la surface (noir mat) ce traitement de surface augmente l'effet du rayonnement infrarouge. Cette amélioration est encore plus spectaculaire lorsque la convection est forcée (ventilation) mais dans ce cas l'amélioration apportée par la nature des surfaces (anodisées ou non) devient négligeable (courbes confondues).



Radiateur pour le montage de diodes de puissance ou de transistors tourelles.

LES DIFFERENTS MODELES DE REFROIDISSEURS

Selon l'usage auxquels ils sont destinés, il existe une très grande variété de modèles, mais nous distinguerons :



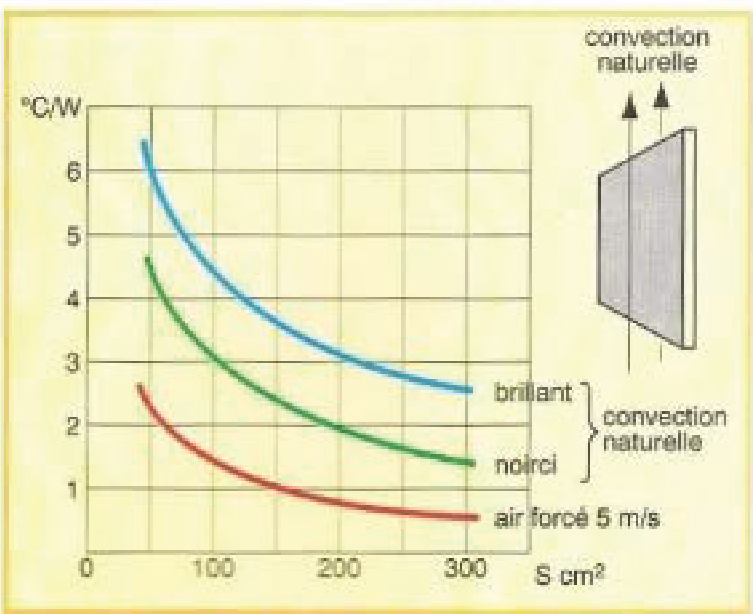


Figure 4 : Ailette de refroidissement plane et carrée disposée verticalement.

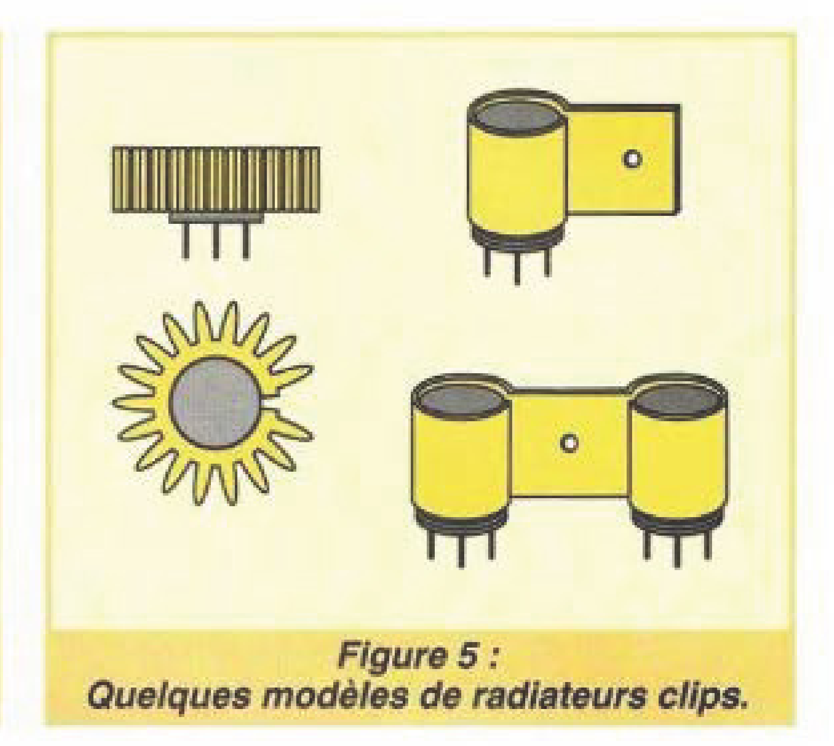


Figure 5 : Quelques modèles de radiateurs clips.



Refroidissement une face.



Refroidissement deux faces.

Refroidissement deux faces.

Refroidissement une face.

Figure 6 : Refroidisseurs de puissance par convection naturelle.

- Les clips à ailette pour dispositifs de faible puissance.
- Les refroidisseurs de puissance à convection naturelle.
- Les refroidisseurs de puissance à convection forcée.
- Les refroidisseurs à circulation de liquide.

LES CLIPS

Les clips sont surtout employés pour les petits transistors. Ils se fixent à leur boîtier par pincement ou par pression. On arrive ainsi à doubler voire tripler la dissipation pour une même température de jonction. Il existe des modèles acceptant deux transistors de façon à équilibrer leur température (étages symétriques) (figure 5).

CONVECTION NATURELLE

Les refroidisseurs de puissance par convection naturelle se trouvent le plus souvent prêts et usinés pour un type de boîtier bien défini (TO3 par exemple), ils se trouvent aussi sous forme brute de profilé en aluminium extrudé

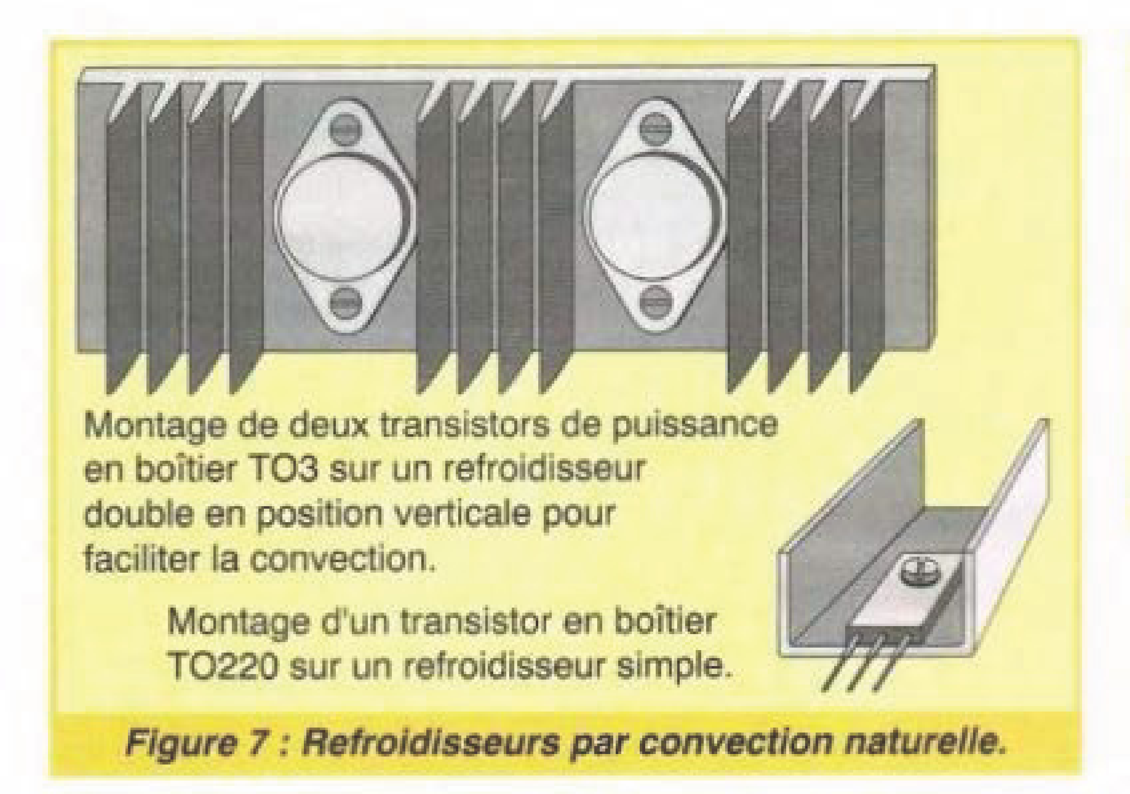


Figure 7 : Refroidisseurs par convection naturelle.



Dans la réalité.

ce soit à des appareils compacts sur lesquels on désire un silence absolu de fonctionnement, ce qui n'est pas le cas des ventilateurs. Leur fonctionnement est

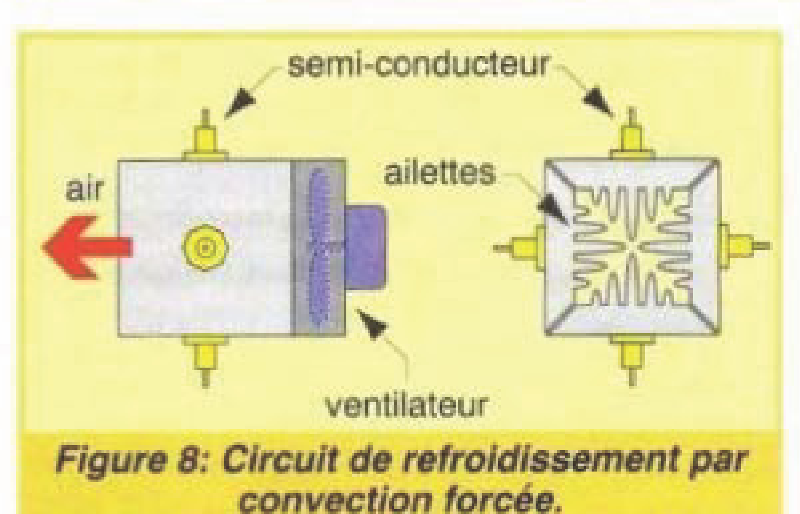


Figure 8: Circuit de refroidissement par convection forcée.

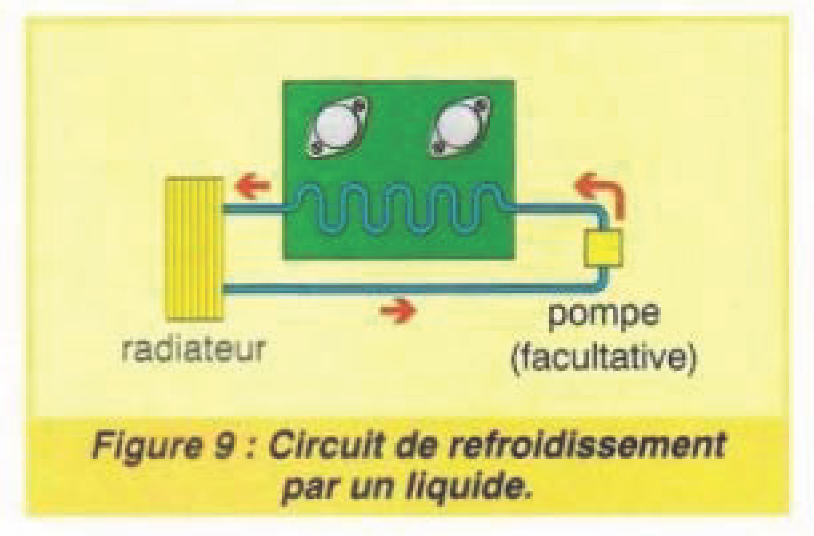


Figure 9 : Circuit de refroidissement par un liquide.

et vendu au mètre. Les formes de ces profilés sont nombreuses car chaque fabricant cherche à obtenir la plus faible résistance thermique sous le plus faible volume en multipliant le nombre d'ailettes tout en assurant un bon écoulement des filets d'air se déplaçant par convection. Nous avons déjà vu que leur anodisation en noir mat améliorait leur rendement global (par rayonnement infrarouge) (figures 6 et 7).

CONVECTION FORCEE

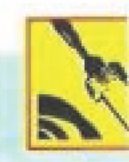
Les refroidisseurs de puissance par convection forcée sont utilisés lorsque la circulation d'air est faible. On utilise souvent des modèles à convection naturelle (ci-dessus) munis de petits ventilateurs commandés ou non par un thermostat. Les modèles de grande puissance sont montés en forme de conduit dont l'intérieur, muni de nombreuses ailettes, est parcouru par un courant d'air forcé de débit important (figure 8).

CIRCULATION DE LIQUIDE

Les refroidisseurs par circulation de liquide sont réservés soit aux installations de grande puissance identique à celui du circuit de refroidissement par eau d'un moteur de véhicule (figure 9).

CONCLUSION

Il y aurait bien d'autres choses à vous dire au sujet du refroidissement des semi-conducteurs. Nous y reviendrons de temps à autre, car c'est un sujet trop souvent négligé par les électroniciens. La longévité de vos composants en dépend. Des applications simples de refroidisseurs par convection feront l'objet d'une fiche séparée. ■



TESTEUR DE TRANSISTORS

Ce mois-ci, nous vous proposons de réaliser ce petit montage testeur de transistors fort utile.

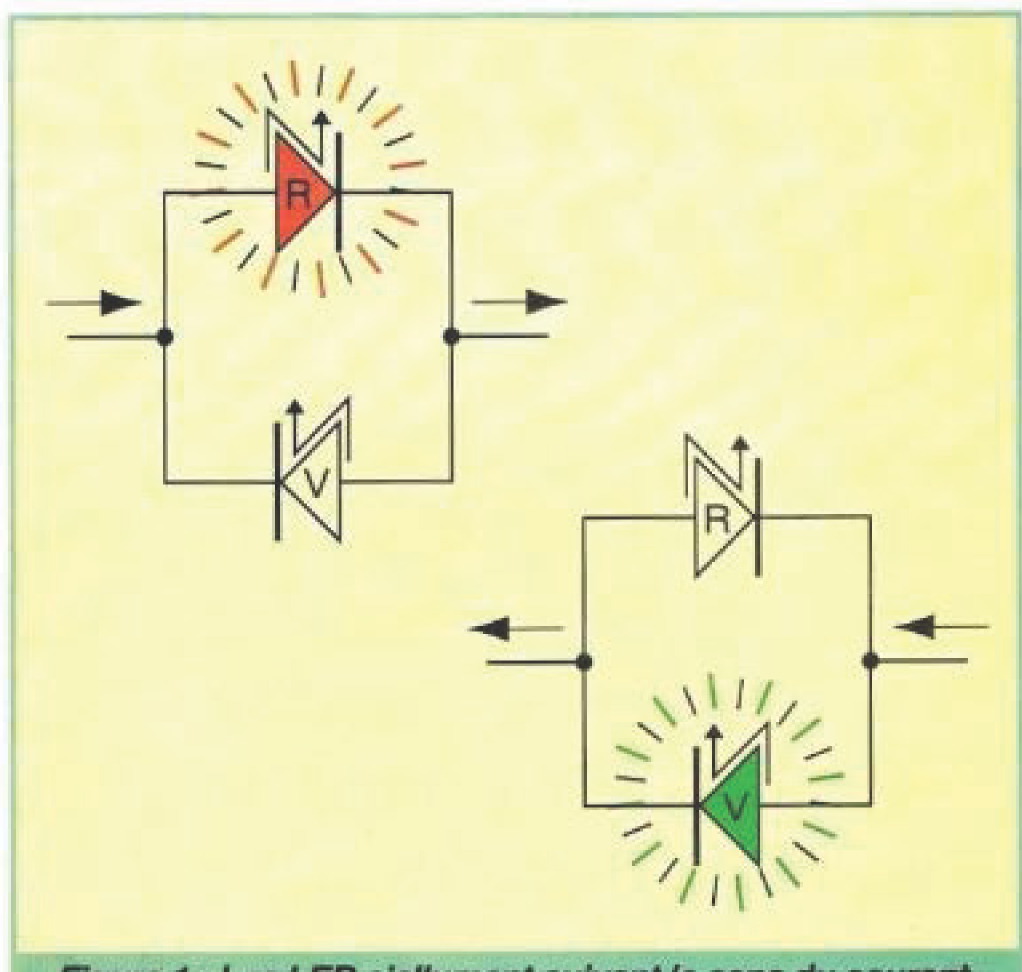
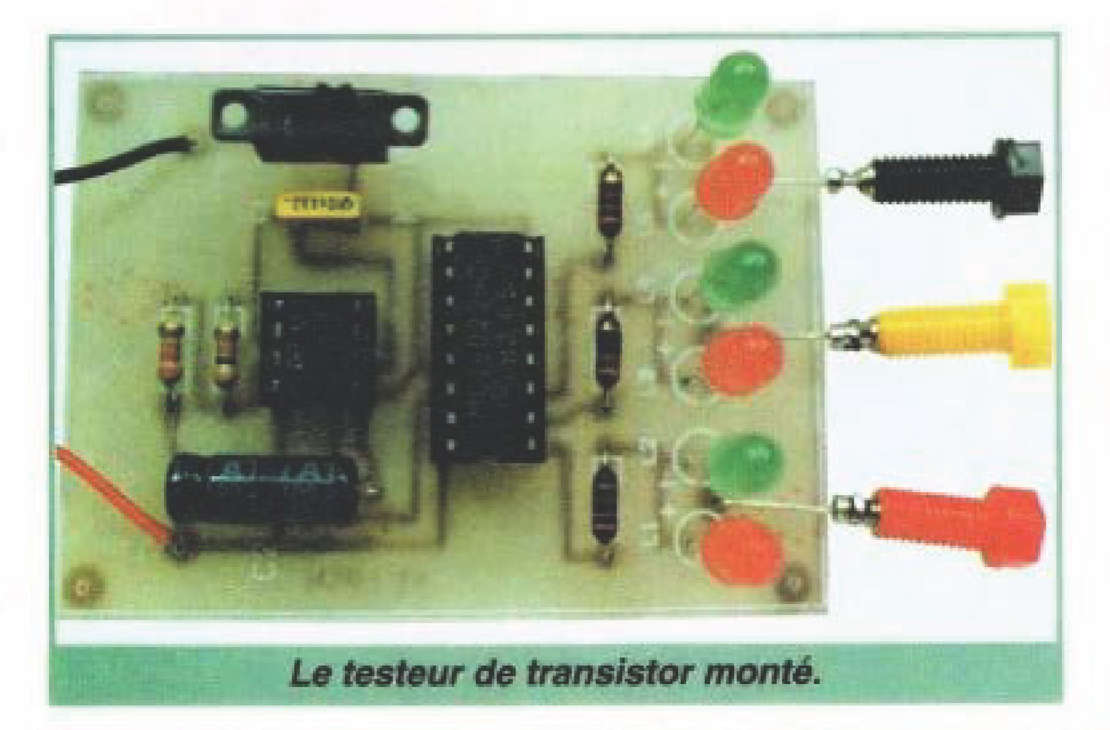


Figure 1 : Les LED s'allument suivant le sens du courant.

Ce montage vous permettra de tester automatiquement une diode ou un transistor. Il détermine le type de ce dernier : PNP ou NPN, il teste les jonctions et détermine la position de la base.



Le testeur de transistor monté.

Le circuit utilise, comme oscillateur, le circuit intégré 555 monté en astable.

Les impulsions disponibles sur la sortie 3 sont appliquées sur l'entrée 14 d'un circuit intégré en logique CMOS 4022, fonctionnant en compteur par 3, dont les trois sorties QØ, Q1 et Q2 passent successivement de l'état zéro à l'état un.

Le 4022 est en réalité un compteur/diviseur par 8 qui est automatiquement remis à zéro sur le front montant de la sortie sui-

Figure 2 : Schéma logique interne du 4022.

vante Q4 par la boucle qui relie ses broches 7 (Q4) et 15 (RAZ). Les résistances R1, R2 et R3 limitent le courant des diodes LED.

Ces dernières s'allument selon le sens du courant parcourant leur branche* (voir figure 1).

* Il existe des LED doubles, bicolores pour cet usage, mais en raison de leur rareté et de leur prix de revient plus élevé, nous avons préféré mettre des modèles ordinaires.

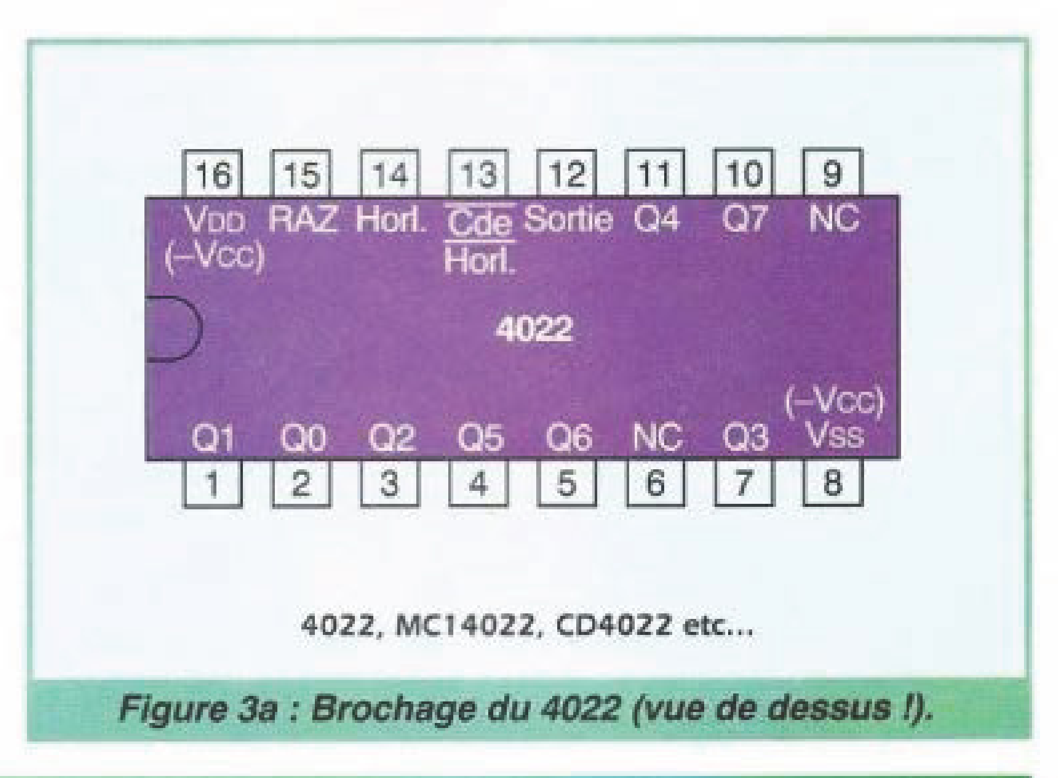


Figure 3a : Brochage du 4022 (vue de dessus !).



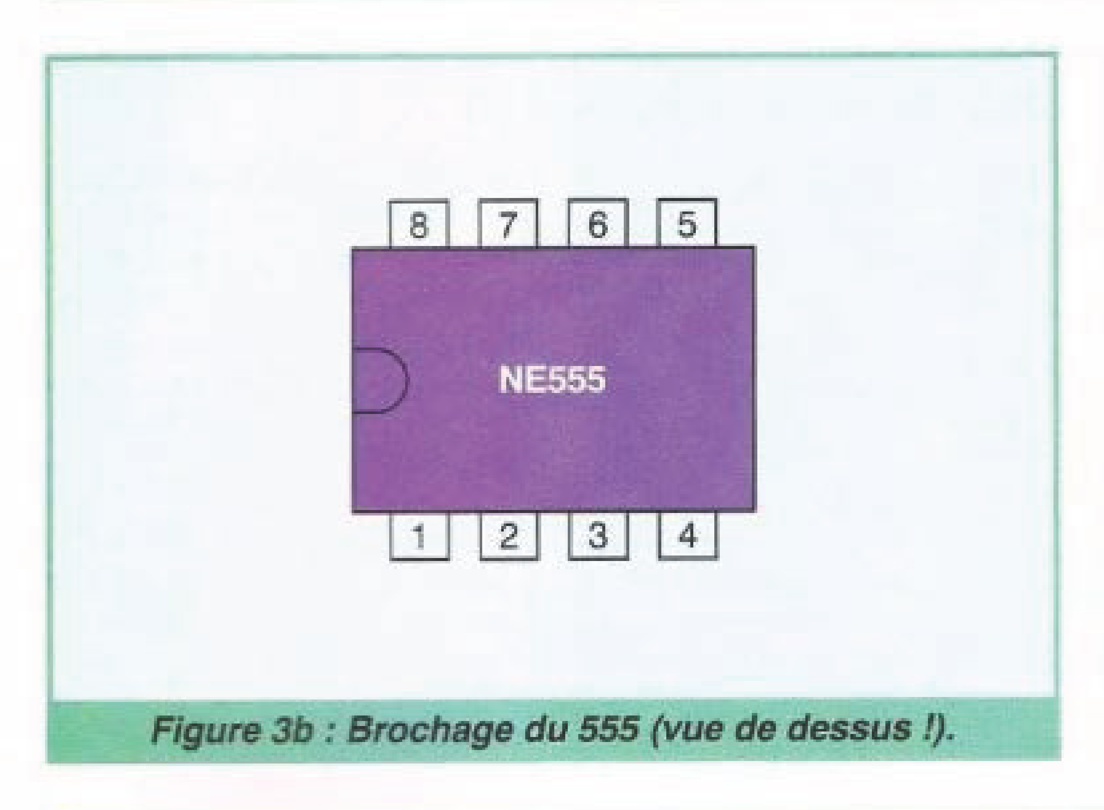
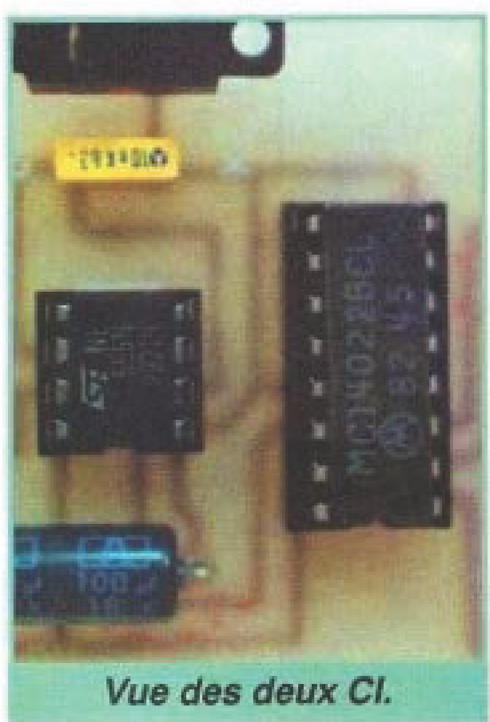


Figure 3b : Brochage du 555 (vue de dessus !).



Vue des deux CI.

ALLUMAGE DES DIODES LED ROUGES OU VERTES SELON LE SENS DE PASSAGE

Résultats obtenus suivant les divers cas :

PNP	LED ROUGES ou ROUGES et VERTES allumées sur collecteur et émetteur. LED VERTE seule allumée sur la base.
NPN	LED VERTES allumées sur collecteur et émetteur. LED ROUGE allumée sur la base.
Diode	LED VERTE sur cathode et LED ROUGE sur anode.

Jonction en court-circuit : Les 4 LED de la jonction sont allumées.
Jonction ouverte (coupée) : Les 4 LED de la jonction restent éteintes.

Tableau 1.

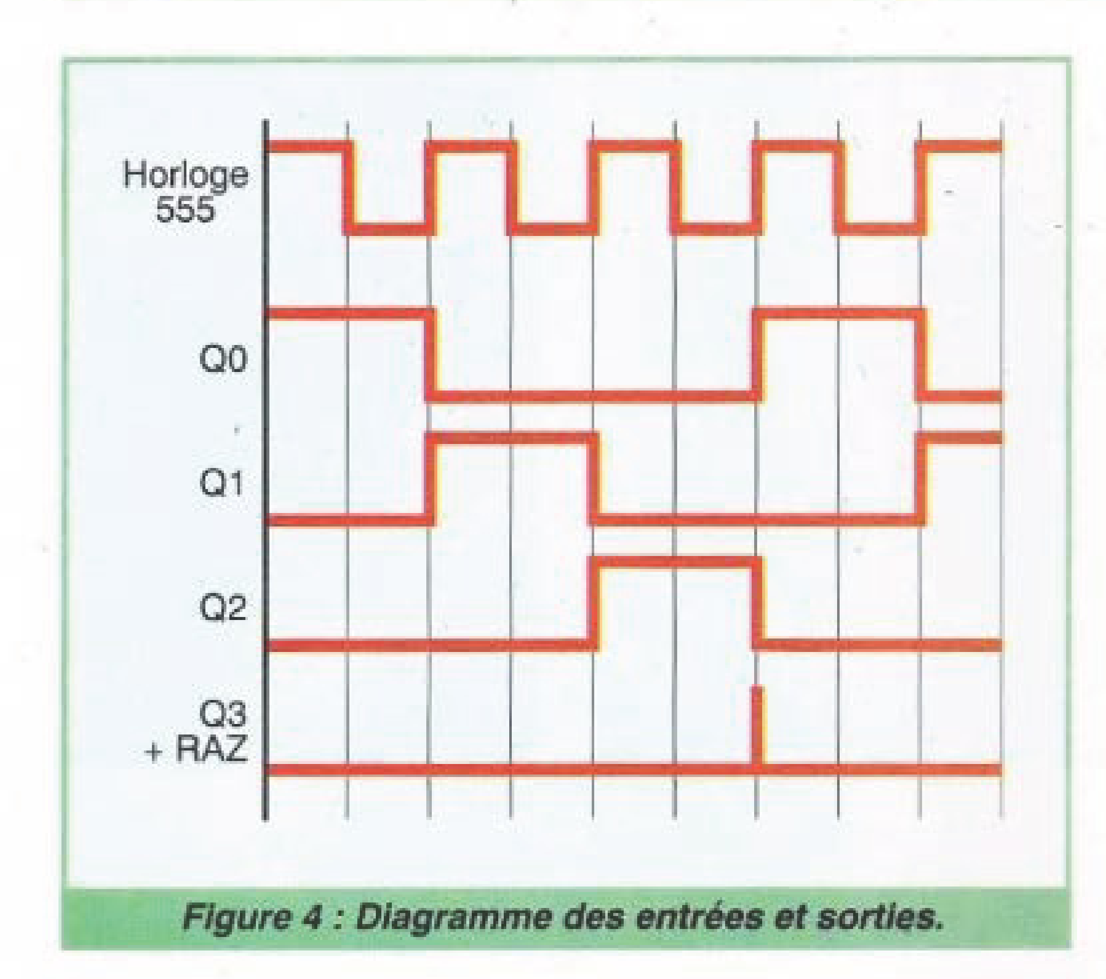


Figure 4 : Diagramme des entrées et sorties.

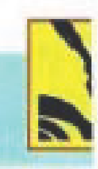
LE CIRCUIT INTÉGRÉ 4022

Le circuit 4022 est proche du 4017 décrit dans notre réalisation précédente. (Nous aurions d'ailleurs pu utiliser ce dernier en "bouclant" aussi sa remise à zéro sur Q3) .

Son boîtier est du type DIL 16 et comprend quatre bascules bistables successives, montées en compteur Johnson.

Les sorties de chacune d'entre elles sont accessibles par des portes interdépendantes qui ne laissent passer qu'une impulsion par cycle suivant le diagramme que nous vous donnons figure 4.

Figure 5 : Schéma du montage.



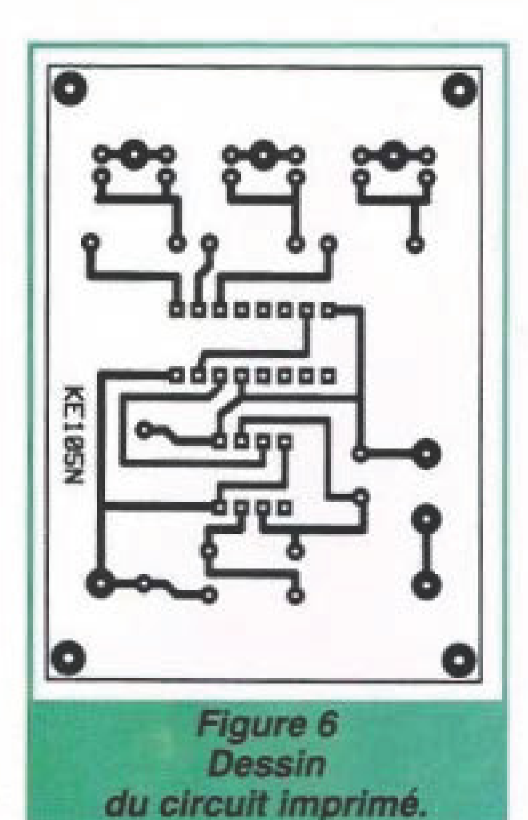


Figure 6
Dessin
du circuit imprimé.

Ici, ce diagramme tient compte de la boucle Raz - Q3 et seules les trois premières bascules sont utilisées à la manière d'un chenillard. Le comptage ne peut avoir lieu que si la broche 13 est maintenue à un niveau bas (à la masse).

L'alimentation du 4022B peut être comprise entre 3 et 18 Vcc.

Le transistor à tester est relié aux sorties 1, 2 et 3 provoquant l'allumage des diodes LED rouges ou vertes, selon le sens de passage.

Les résultats sont donnés dans le tableau 1.

LE SCHEMA

Se reporter à la figure 5.

LE CIRCUIT IMPRIME

Nous utilisons ici une plaquette en verre époxy "simple face".

Les quatre pastilles situées dans les angles seront percées au diamètre de 3,5 mm pour le passage des vis de fixation de la plaquette sur le boîtier.

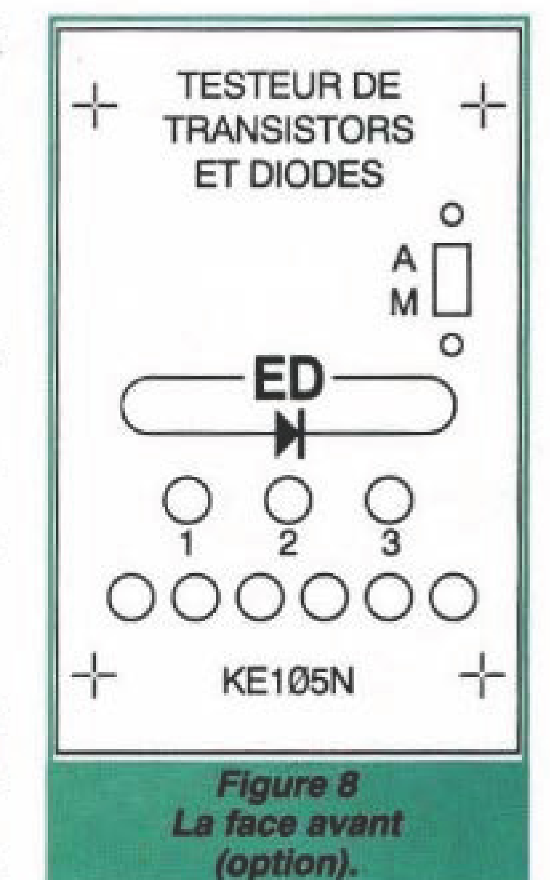
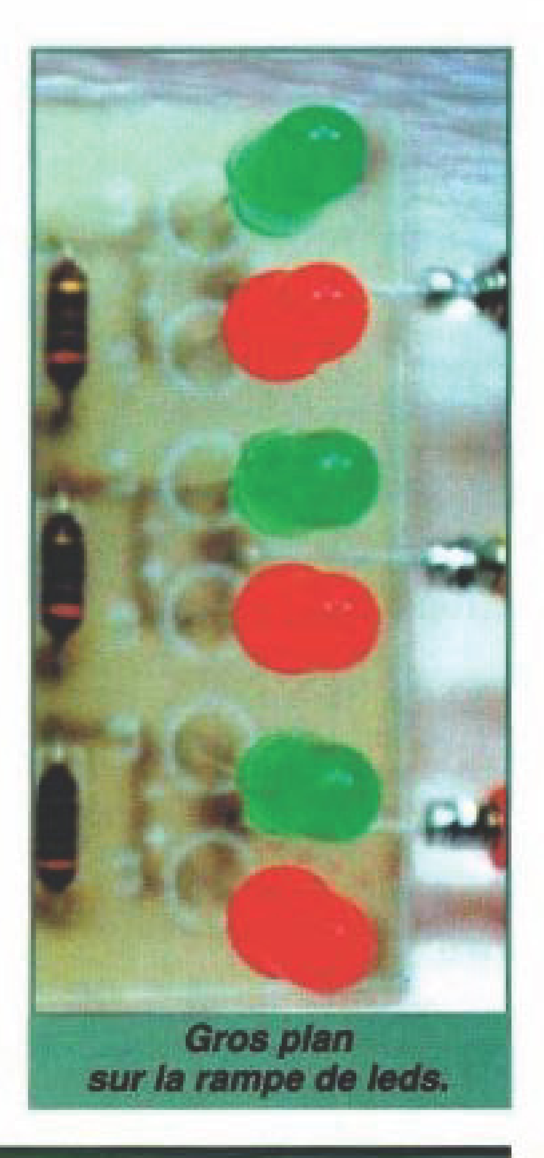


Figure 8
La face avant
(option).



Gros plan
sur la rampe de leds.

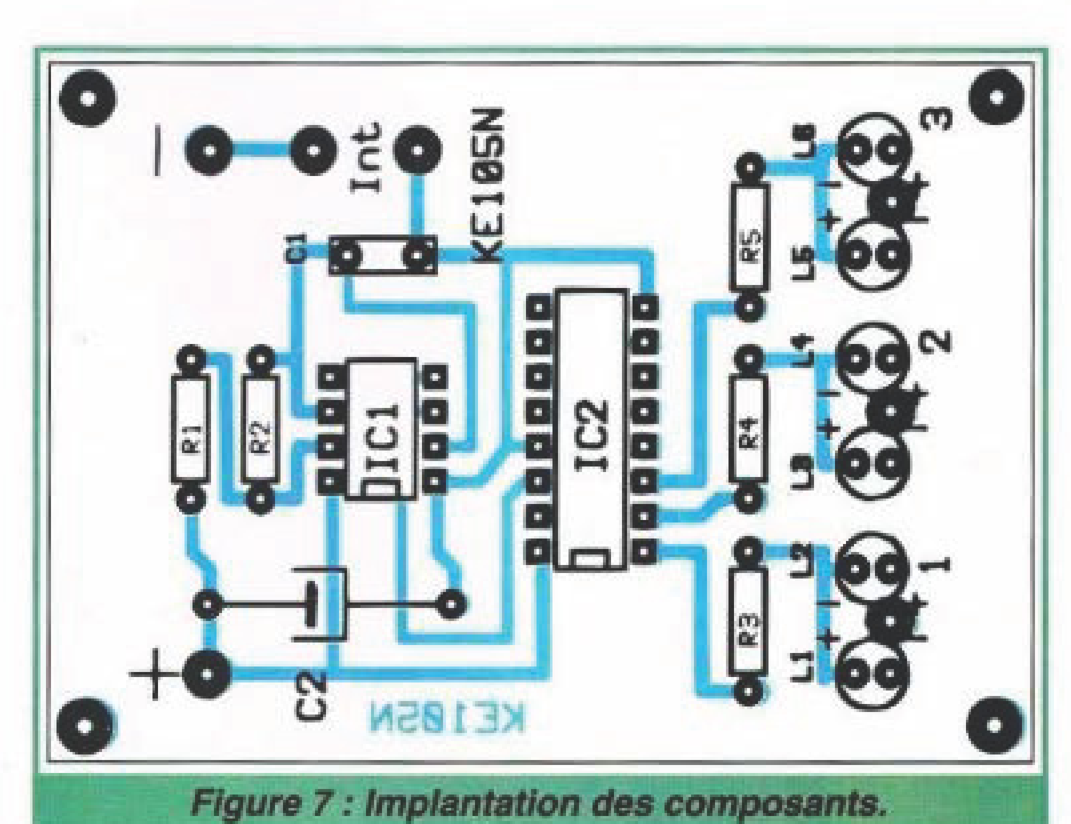


Figure 7 : Implantation des composants.

Nous vous donnons aussi, à titre indicatif, le dessin de la face avant du boîtier de l'appareil. Elle peut être soit en verre époxy soit en aluminium.

LA LISTE DES COMPOSANTS

Résistances à couche 1/4 watt, 5 ou 10 %

R1 22 kΩ
R2 47 kΩ
R3 270 Ω
R4 270 Ω
R5 270 Ω

Condensateurs

C1 10 nF/63 V polycarb. sorties radiales
C2 100 µF/16 V électrolyt. sorties axiales.

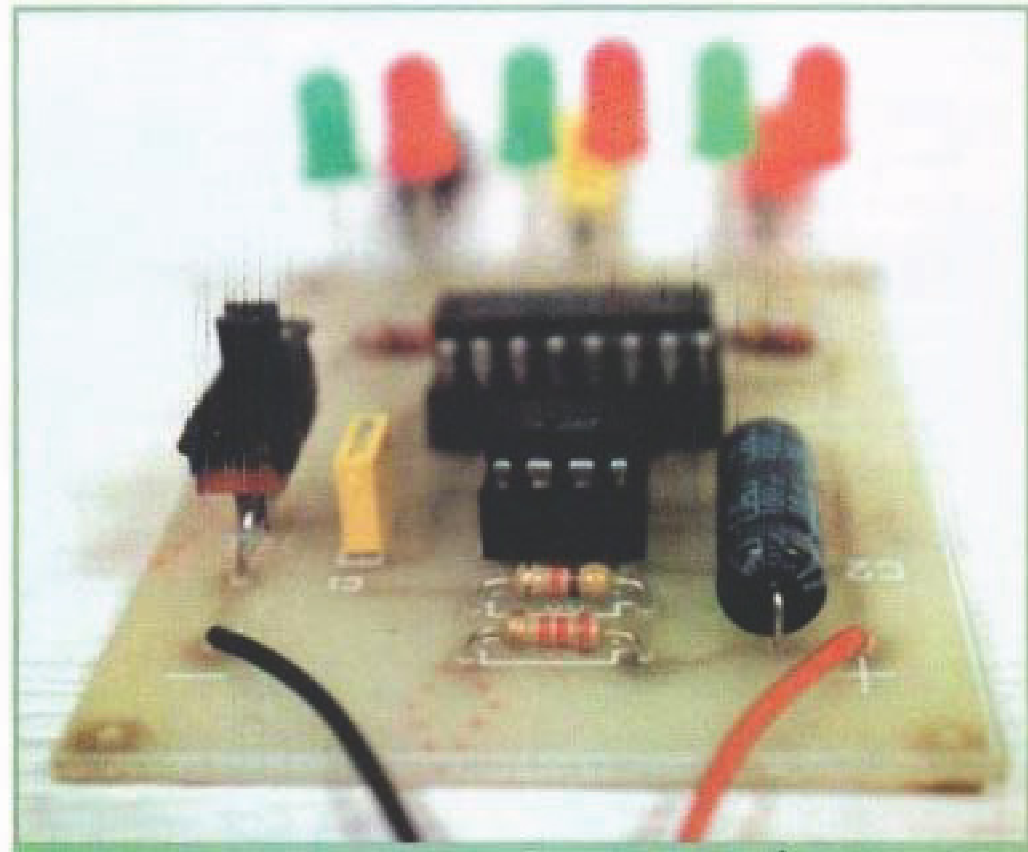
Semi-conducteurs

IC1 555
IC2 4022

L1 LED Rouge de 5 mm
L2 LED Verte de 5 mm
L3 LED Rouge de 5 mm
L4 LED Verte de 5 mm
L5 LED Rouge de 5 mm
L6 LED Verte de 5 mm

Divers

1 support DIL 8 (2 x 4)
1 support DIL 16 (2 x 8)
1 clips de pile 9 V précâblé
1 interrupteur à glissière
2 vis et écrous pour fixer l'interrupteur
3 douilles femelles isolées 2 mm de couleurs différentes genre "bananes miniatures".



Les trois douilles de test et l'interrupteur (à gauche ici), seront montés sur la face avant.

Options :

1 boitier réf. HAED100
1 mylar
1 décor avant
4 vis M3/30
12 écrous M3

LA REALISATION ET LES REGLAGES

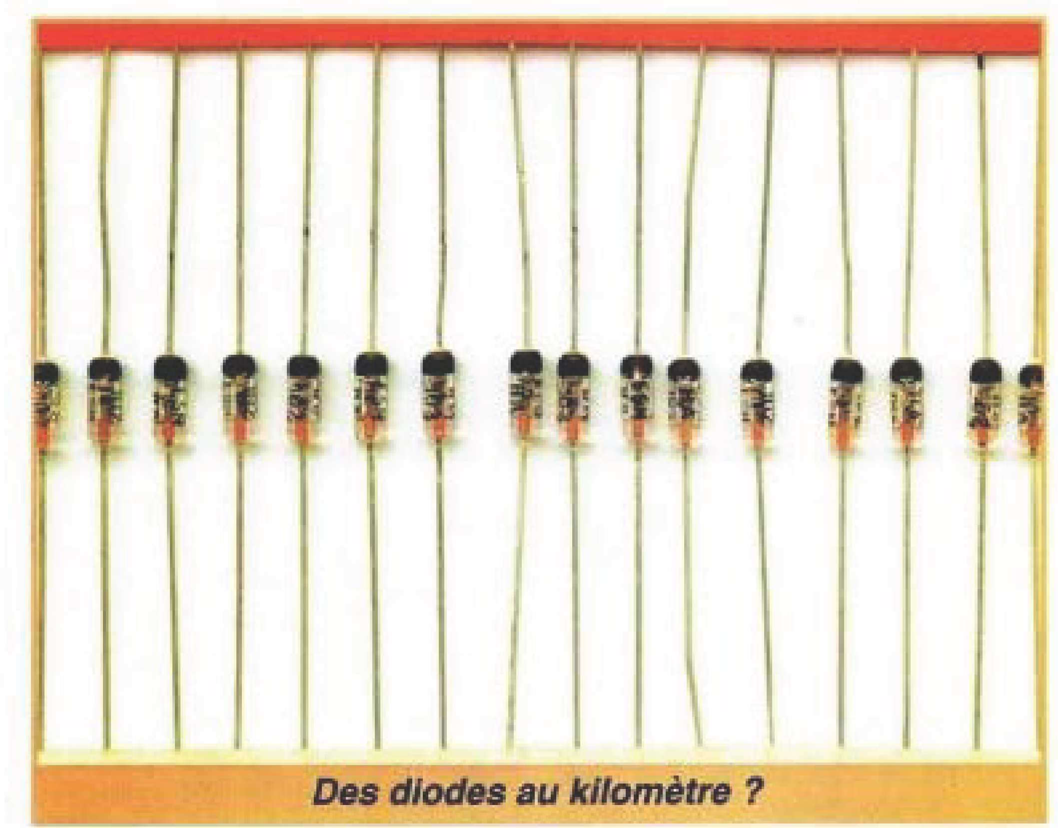
Respectez bien le sens de C1, des diodes LED et des circuits intégrés. Si vous montez votre plaquette dans le boîtier en option, gardez toute la longueur des pattes des LED. La dernière étape du montage consistera à placer le 555 et enfin le 4022 sur leurs supports. Avec ce dernier, prenez les précautions habituelles pour les circuits intégrés CMOS. Aucun réglage n'est à faire.

* Note de la rédaction : La notice de ce kit ne mentionne que des test de diodes et de transistors bipolaires NPN et PNP. Comme il s'agit de tester simultanément deux jonctions NP ou PN, les transistors à effet de champs JFET (mais pas les MOS !) canal P et canal N doivent aussi convenir en considérant la gate comme une base, la source comme un émetteur et le drain comme un collecteur.

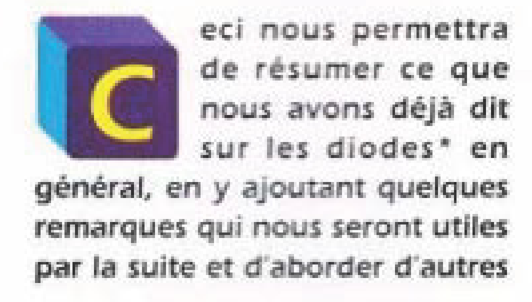


RETOUR SUR LA DIODE

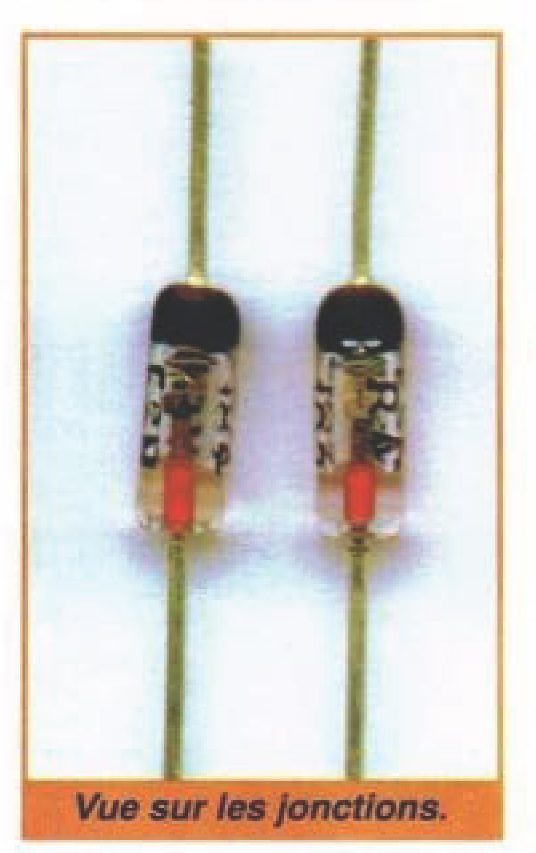
Avant de poursuivre l'étude des dispositifs à semi-conducteurs, nous allons revenir sur la jonction semi-conductrice qui en est l'élément fondamental.



Des diodes au kilomètre ?



Ceci nous permettra de résumer ce que nous avons déjà dit sur les diodes* en général, en y ajoutant quelques remarques qui nous seront utiles par la suite et d'aborder d'autres types de diodes spécialisées et d'usage courant. Cette étude fera l'objet d'une ou deux fiches par mois.



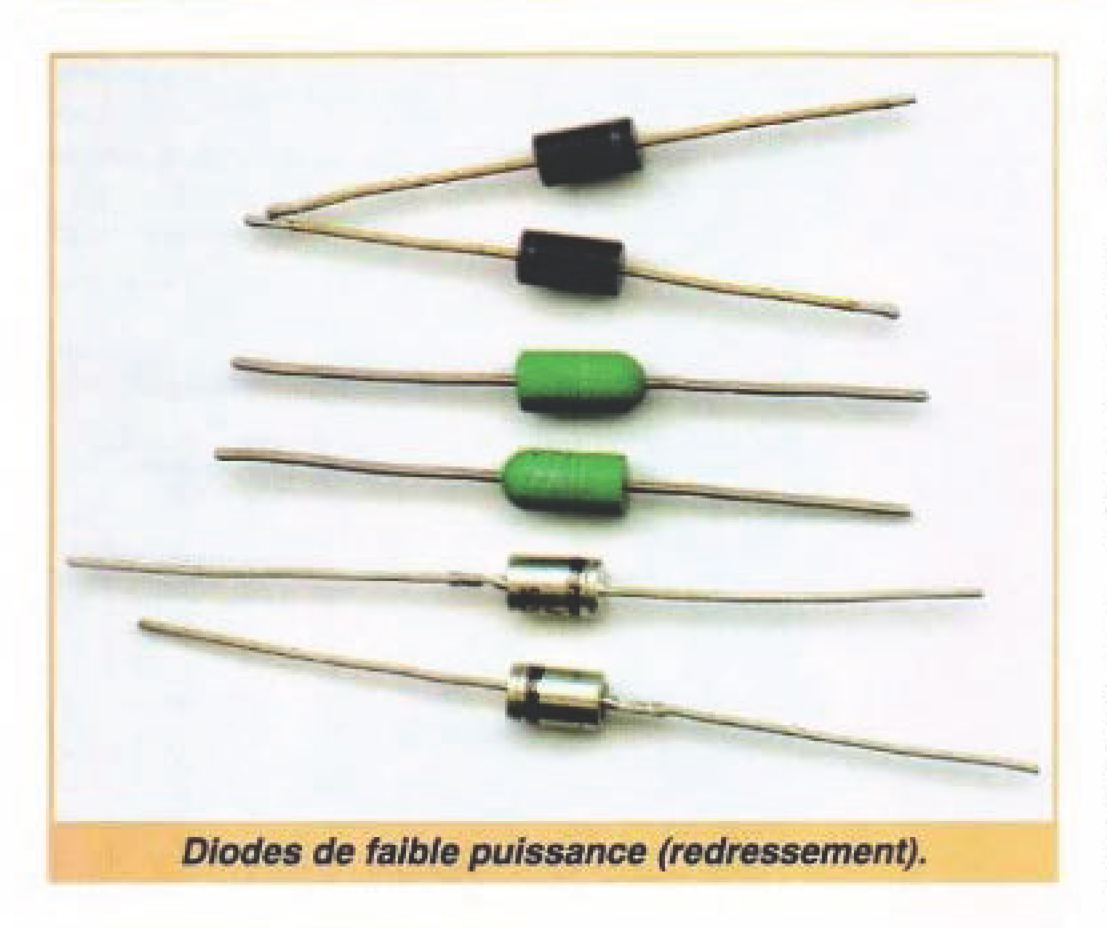
Vue sur les jonctions.

LA JONCTION PN

Il existe divers types de jonctions, mais les plus courantes sont : la jonction conducteur /semi-conducteur et la jonction semi-conducteur/semi-conducteur. Pour mémoire, la première a été autrefois utilisée pour la fabrication d'éléments redresseurs. Elle n'est plus guère utilisée si ce n'est pour les diodes de signal à pointe au germanium et au silicium pour les micro-ondes. Ces diodes sont justement remplacées actuellement par des jonctions PN plus performantes (diodes schottky, PIN...). Nous ne parlerons donc que de la seconde la jonction semi-conducteur/semi-conducteur ou PN.

Par manque de place, nous ne reviendrons pas sur les dopage P et N*, retenez seulement qu'un cristal semi-conducteur absolument pur est considéré comme un isolant, si l'on y ajoute des

* Voir ABC Electronique N° 3. Les numéros 1 à 12 sont épuisés, mais ils restent disponibles en photocopie noir et blanc.


Diodes de faible puissance (redressement).

LA POLARISATION D'UNE JONCTION

La figure 2 nous montre une jonction PN polarisée dans le sens direct. Dans ces conditions, la jonction est "passante" ou "conductrice", la barrière de potentiel est très faible et dépend de la nature même du semi-conducteur utilisé.

Traçons la courbe du courant direct Id en fonction de la tension directe appliquée (Id = f(Vd), pour les trois éléments semi-conducteurs les plus utilisés : le germanium Ge, le silicium Si et l'arséniure de gallium Ga-As (figure 3).

Le prolongement de la partie rectiligne de chaque courbe rencontre l'axe des tensions Vd en un point appelé tension de seuil Vs. Cette tension est aussi appelée "tension de déchet " ou "chute de tension directe".

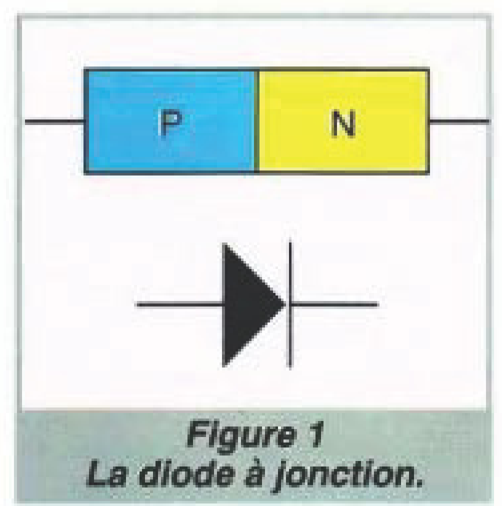


Figure 1
La diode à jonction.

traces d'impureté, sa résistivité diminue soit par un excès d'électrons libres, il est alors du type N, soit par un défaut d'électrons ("trou" ou "lacune"), il est alors du type P. Ajoutons aussi que cette notion de dopage est tout à fait relative : un type N qui comporte moins d'électrons libres qu'un autre type N sera considéré comme un type P par rapport à ce dernier.

La figure 1 vous montre une diode formée par une jonction PN. La jonction proprement dite est une zone située à la rencontre des deux régions P et N, zone dans laquelle nous passons plus ou moins progressivement du type P au type N. Cette zone de transition forme une barrière appelée "barrière de potentiel".

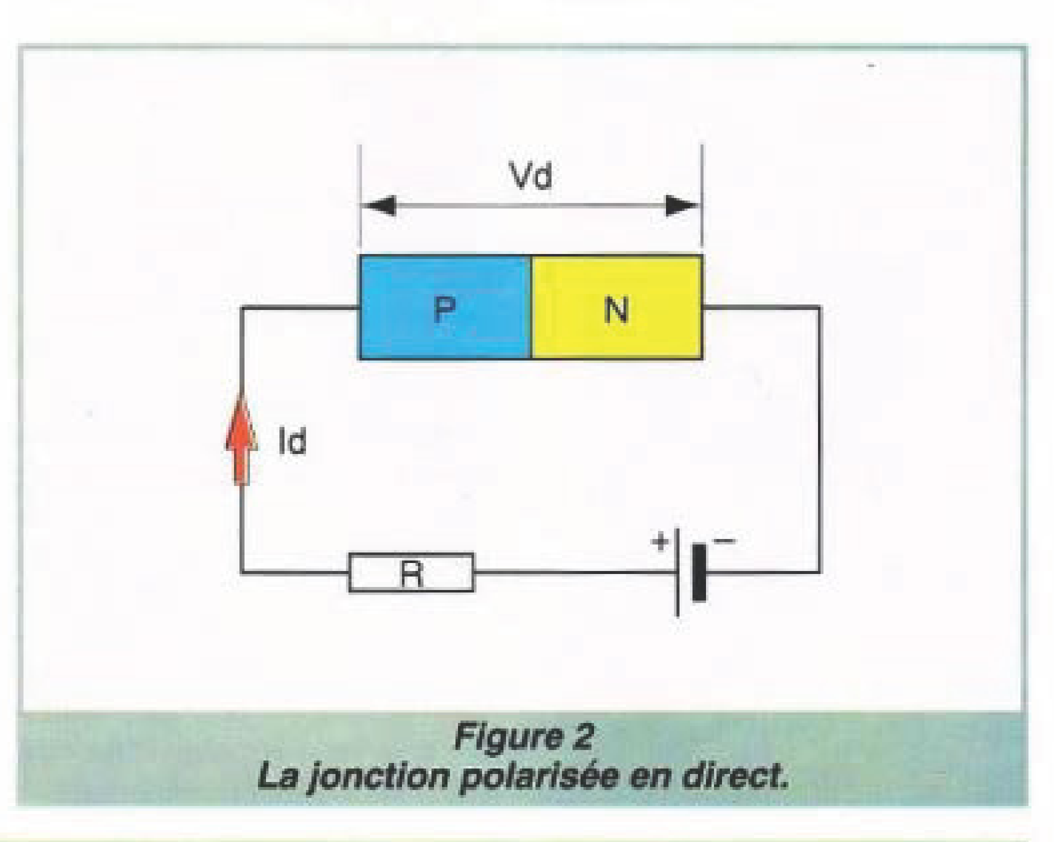


Figure 2
La jonction polarisée en direct.



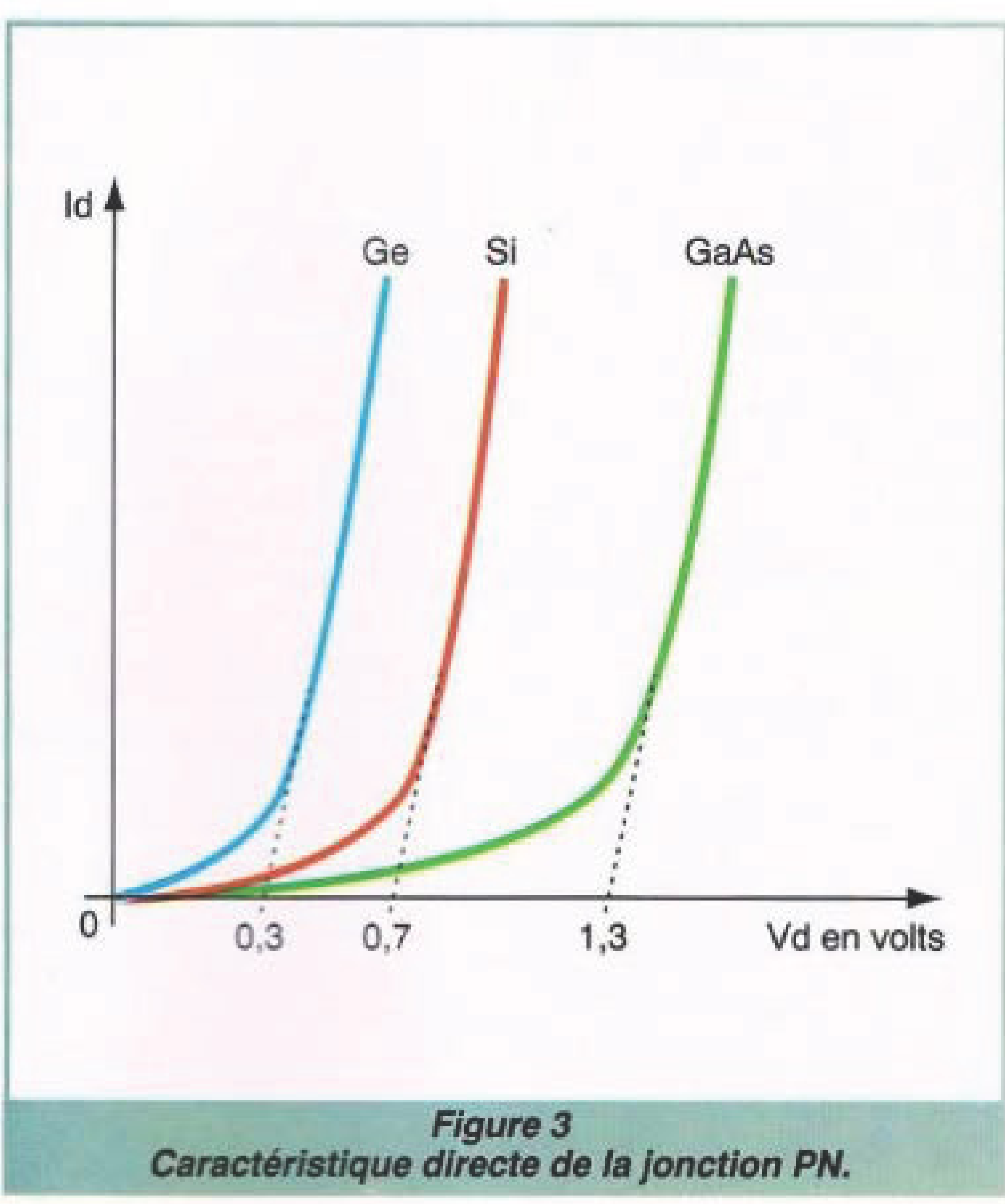


Figure 3
Caractéristique directe de la jonction PN.



Diodes Zener de moyenne puissance.

Vs = 0,3 V pour germanium,
Vs = 0,7 V pour le silicium,
Vs = 1,3 V pour l'arséniure de gallium.

Vous remarquerez donc que Vs n'est pas constant pour de très faibles courants directs (parties incurvées). Pour évaluer Vs avec précision vous devez faire au moins deux mesures sur la partie rectiligne.

Reprenons notre jonction et polarisons-la maintenant dans le sens inverse suivant la figure 4.

La tension appliquée a pour effet d'élargir la barrière de potentiel, le courant inverse est pratiquement nul, la jonction est dite bloquée ou non-conductrice.

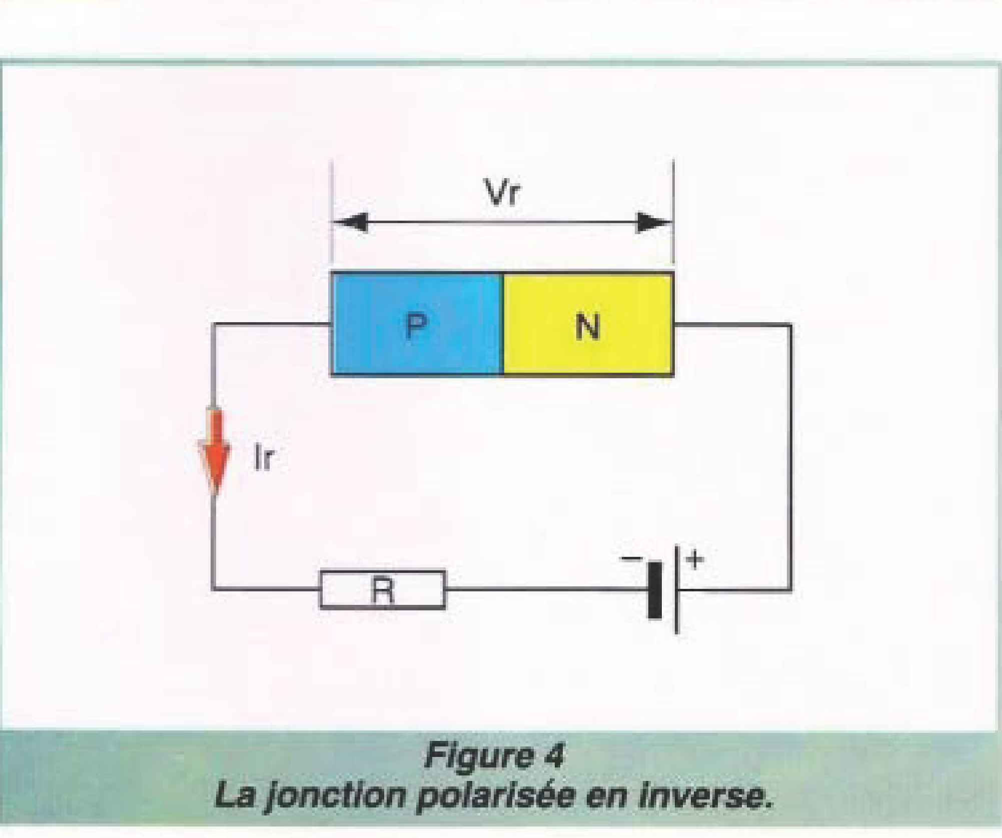
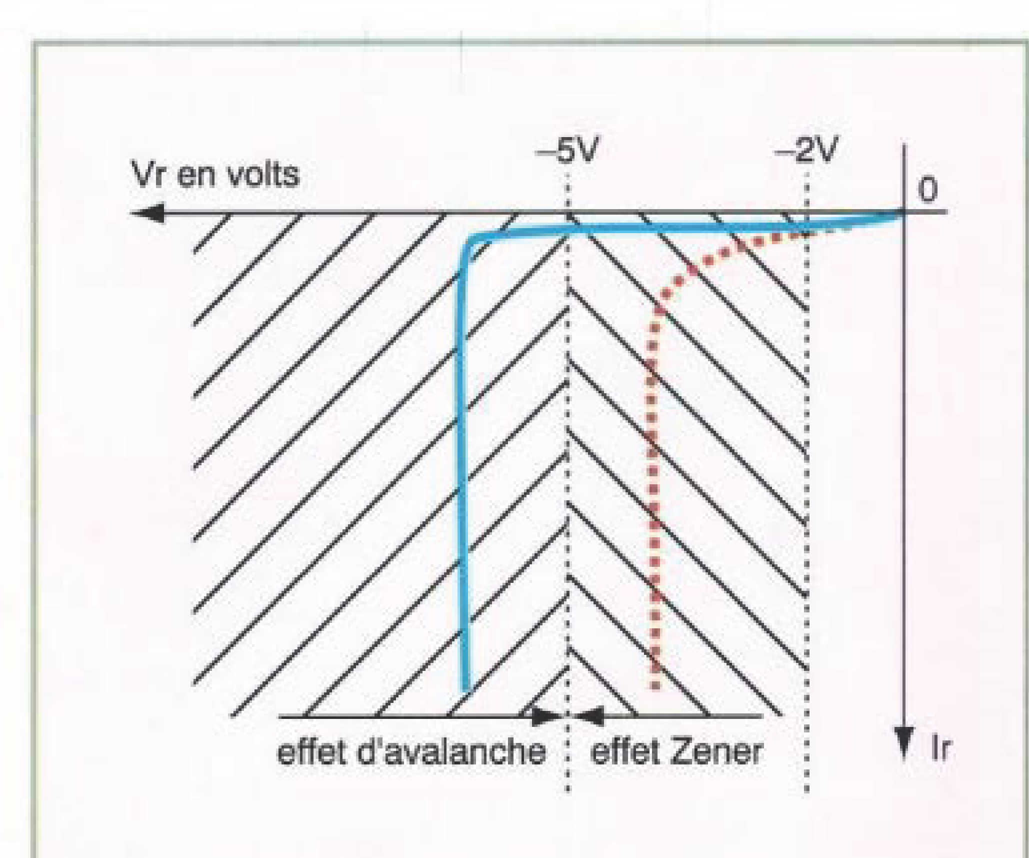


Figure 4
La jonction polarisée en inverse.



Diodes de redressement de moyenne puissance.



Nous avons conservé l'indice r pour "reverse" en anglais l'indice i (pour "inverse") pouvant créer une confusion. Vous remarquerez le sens inversé des axes Vr et Ir. Ce graphique est généralement représenté zéro confondu avec celui de la caractéristique directe.

Figure 5
Caractéristique inverse de la jonction PN.



Diodes de redressement de forte puissance.

La courbe caractéristique en inverse Ir = f(Vr) montre un très faible courant de fuite puis, pour une certaine tension Vr, le courant se met à augmenter très rapidement, si ce courant ne peut pas être maitrisé, c'est à dire limité par une résistance par exemple, la jonction sera détruite. Quand ce courant ne dépasse pas les limites de dissipation de la jonction nous assistons donc à un claquage non destructif (ou "réversible") (figure 5).

Lorsque ce phénomène se produit à des tensions inverses inférieures à 5 V, il est appelé "effet zener" et il est dû à une jonction fortement dopée. A des tensions supérieures à 5 V, il est appelé "effet d'avalanche". Ces deux effets ont des résultats équivalants quoique l'effet d'avalanche est plus prononcé (coude plus franc). Nous les utilisons pour les diodes de régulation de tension qui sont généralement appelées diodes zener.

Au voisinage du coude de sa caractéristique la diode zener engendre du "bruit", c'est à dire un signal aléatoire qui couvre une très large bande de fréquences du courant continu à plusieurs gigahertz. Ce bruit dû à des imperfections du réseau cristallin peut être atténué par découplage ou mis à profit dans certaines applications (générateurs de bruit).

L'utilisation première de la diode est le redressement (ou la détection des signaux faibles). Par un dopage approprié, il est possible de favoriser l'effet Zener (ou d'avalanche) mais ce n'est pas le seul phénomène exploitable de la diode.

(à suivre)

AIDE-MEMOIRE ELECTRONIQUE

R. BESSON

Composants, satellites, vidéo, sonorisation, radio, télévision. Des bases de l'électricité jusqu'aux produits de l'électronique grand public.

448 pages - REF BOR41410 97F. + 25 F port

LIVRE DES GADGETS ELECTRONIQUES

B. FIGHIERA

Pour les jeunes et débutants qui pourront réaliser, sans connaissances spéciales, des montages "tremplins" : sirène, interphone,etc...

130 pages - REF BOR23826 135F. + 25 F port

GUIDE PRATIQUE DES MONTAGES ELECTRONIQUES

M. ARCHAMBAULT

De la conception des circuits imprimés jusqu'à la réalisation des façades de coffrets en passant par la fixation des composants. ..

144 pages - REF BOR23821 90F. + 25 F port

200 MONTAGES ELECTRONIQUES SIMPLES

W. SOROKINE

Montages demandant très peu de composants, effectués en une soirée et vérifiable immédiatement. Avec circuits intégrés.

384 pages - REF BOR25576 160F. + 25 F port

REUSSIR 25 MONTAGES A CIRCUITS INTEGRES

B. FIGHIERA

Circuits intégrés logiques - 5 jeux - 6 gadgets pour la maison - 5 appareils de mesure - 8 montages BF et HI-FI.

128 pages - REF BOR23829 95F. + 25 F port

ELECTRONIQUE LABORATOIRE ET MESURE

B. FIGHIERA ET R. BESSON

Nombreux shémas pratiques de materiels utilisables pour l'amateur bricoleur.

176 pages - REF BOR23808 130F. + 25 F port

ELECTRONIQUE JEUX ET GADGETS

B.FIGHIERA ET R. BESSON

Applaudimètre - Truqueur de voix - Anti-ronfleur - Casse-tête électronique - Gradateur de lumière -Badge lumineux -

160 pages - REF BOR23806 130F. + 25 F port

CIRCUITS IMPRIMES

P. GUEULLE

Conception et réalisation. Les principales notions d'optique, de photochimie et de reprographie, pour comprendre véritablement ce que l'on fait.

160 pages - REF BOR23841 140F. + 25 F port

1500 SCHEMAS ET CIRCUITS ELECTRONIQUES

R. BOURGERON

300 nouveaux schémas. Accès par fonction a été ajouté.

558 pages - REF BOR25497 240F. + 25 F port

350 SCHEMAS HF DE 10 kHz A 16 Hz

H. SCHREIBER

Ce livre est un outil efficace de recherche, d'idées de circuits et une bibliographie de schémas publies.

320 pages - REF BOR25495 190F. + 25 F port

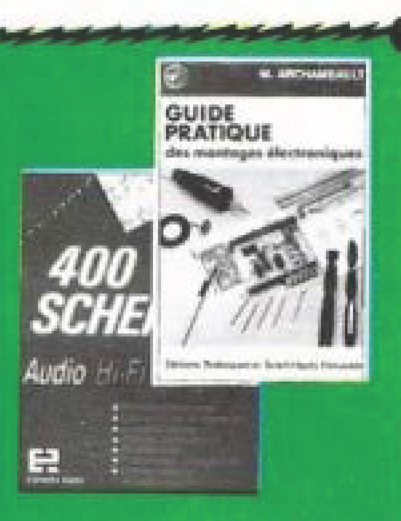
270 SCHEMAS D'ALIMENTATION

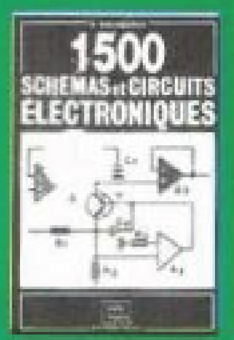
H. SCHREIBER

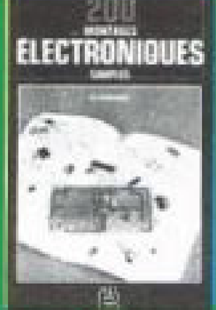
Livre de référence à consulter très souvent ! Panorama de tout ce qui touche aux alimentations avec une sélection de schémas de circuits sécurité.

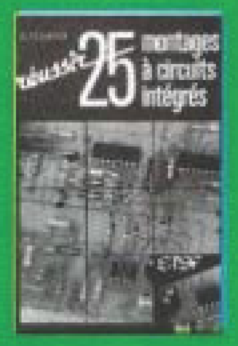
224 pages - REF BOR25498 190F. + 25 F port



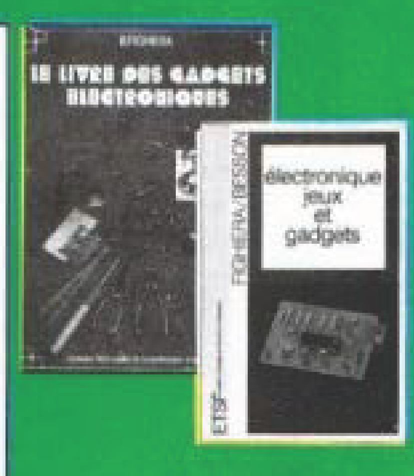












Bon de commande à envoyer aux Editions SORACOM
La Haie de Pan 35170 - BRUZ

TITRE	Référence	Port	Prix
		25 F	
		25 F	
		25 F	
		Total	

Nom : ______________ Prénom : ______________

Adresse : ______________

Code postal : ______________ Ville : ______________

Date : ______________ Signature

Je joins mon règlement
❏ chèque bancaire ❏ chèque postal ❏ mandat

❏ JE REGLE PAR CARTE BANCAIRE

Date d'expiration *Signature*

LES EDITIONS SORACOM

